



**André Filipe Candeias Pires**

Licenciado em Ciências de  
Engenharia Eletrotécnica e de Computadores

## **Comparação entre a norma EN50341 e o Regulamento de Segurança de Linhas Elétricas de Alta Tensão**

Dissertação para obtenção do Grau de Mestre em  
Engenharia Eletrotécnica e de Computadores

Orientador: Prof. Doutor Stanimir Valtchev, Prof. Auxiliar, FCT-UNL

Co-orientadores: Eng. Nuno Enes de Oliveira, Engenheiro Eletrotécnico,  
EDP Distribuição

Júri:

Presidente: Doutor Nuno Veríssimo Paulino - FCT/UNL

Arguentes: Doutor Mário Ventim Neves - FCT/UNL

Vogais: Mestre Nuno Enes de Oliveira - EDP Distribuição



FACULDADE DE  
CIÊNCIAS E TECNOLOGIA  
UNIVERSIDADE NOVA DE LISBOA

**Março, 2021**



## **Comparação entre a norma EN50341 e o Regulamento de Segurança de Linhas Elétricas de Alta Tensão**

Copyright © André Filipe Candeias Pires, Faculdade de Ciências e Tecnologia, Universidade Nova de Lisboa.

A Faculdade de Ciências e Tecnologia e a Universidade Nova de Lisboa têm o direito, perpétuo e sem limites geográficos, de arquivar e publicar esta dissertação através de exemplares impressos reproduzidos em papel ou de forma digital, ou por qualquer outro meio conhecido ou que venha a ser inventado, e de a divulgar através de repositórios científicos e de admitir a sua cópia e distribuição com objectivos educacionais ou de investigação, não comerciais, desde que seja dado crédito ao autor e editor.





*Às mulheres da minha vida.*



## Agradecimentos

Em primeiro lugar, agradeço ao Prof. Dr. Stanimir Valtchev por aceitar a orientação deste trabalho e pela sua disponibilidade ao longo de todo este processo.

Em segundo lugar, agradeço ao meu co-orientador Eng.º Nuno Enes de Oliveira por toda a experiência e conhecimento transmitidos, que tornaram esta experiência muito enriquecedora e de caráter bastante prático.

A toda a minha família, em especial à minha mãe, por todos os esforços que fizeram ao longo destes anos para que tudo isto se tenha tornado possível.

À Maria, por acreditar em mim em todos os momentos, por me apoiar nas alturas difíceis e por me motivar e incentivar a alcançar todos os meus sonhos e objetivos, e a toda a sua família, pais e avós, por todo o apoio e ajuda prestada. Um agradecimento especial à Catarina e ao Rafael pela amizade e conselhos.

A todos os meus amigos, pelos bons momentos partilhados e experiências vividas.

O meu muito obrigado.



## Resumo

A presente dissertação tem por objetivo o estudo e a comparação entre o Regulamento de Segurança de Linhas Elétricas de Alta Tensão e a norma europeia EN50341, documentos que regulam o dimensionamento de linhas elétricas aéreas de alta tensão.

A conceção de uma linha implica conhecer todos os constituintes, compreender a sua aplicação, função e limitações. O projeto de uma linha aérea elétrica consiste na escolha da solução técnico-económica que melhor se adapta ao objetivo pretendido, suportada pelo cálculo mecânico e elétrico definido no regulamento ou norma que lhe for aplicado.

Na fase inicial desta dissertação são descritos todos os elementos necessários à construção da linha, seguida da formulação matemática aplicável.

Na parte final da dissertação, é apresentada uma análise detalhada das diferenças mais significativas entre o regulamento e a norma para as linhas até 30 kV. São elaboradas duas soluções de projeto para o mesmo caso de estudo com o propósito de se aferirem, por comparação, as principais limitações, diferenças construtivas e o impacto económico que resulta da aplicação dos diferentes normativos. Destaca-se como principal diferença a fórmula de cálculo da distância entre condutores que, no caso da norma, apresenta uma redução significativa do vão máximo permitido por cada armação.

**Palavras-chave:** Projeto de linhas elétricas aéreas; Média Tensão; RSLEAT; EN50341.



## Abstract

This dissertation aims to study and compare the Regulamento de Segurança de Linhas Elétricas de Alta Tensão and the European standard EN50341, documents that regulate the design of high voltage overhead power lines.

The conception of a line implies knowing all the constituents, understanding its application, function, and limitations. The design of an electric overhead line consists of choosing the technical-economic solution that best adapts to the intended objective, supported by the mechanical and electrical calculus defined in the respective regulation or standard.

In the initial stage of this dissertation, all the elements necessary for the construction of the line are described, followed by the applicable mathematical formulation.

In the final part of the dissertation, a detailed analysis of the most significant differences between the Portuguese regulation and the European standard for lines up to 30 kV is presented. Two design solutions are developed for the same case study to assess, by comparison, the main limitations, constructive differences, and the economic impact that results from the application of the different standards. Stands out as the main difference the formula for calculating the distance between conductors, which, in the case of the European standard, has a significant reduction in the maximum span allowed by each frame.

**Keywords:** Overhead power lines design; Medium Voltage; RSLEAT; EN50341.





# Conteúdo

<b>AGRADECIMENTOS.....</b>	<b>III</b>
<b>RESUMO.....</b>	<b>III</b>
<b>ABSTRACT .....</b>	<b>III</b>
<b>CONTEÚDO .....</b>	<b>V</b>
<b>LISTA DE TABELAS.....</b>	<b>VII</b>
<b>ÍNDICE DE FIGURAS.....</b>	<b>IX</b>
<b>LISTA DE SIGLAS E SÍMBOLOS.....</b>	<b>XI</b>
<b>1 - INTRODUÇÃO.....</b>	<b>1</b>
1.1 ENQUADRAMENTO E OBJETIVOS DA DISSERTAÇÃO .....	1
1.2 ESTRUTURA DA DISSERTAÇÃO.....	2
<b>2 - ESTADO DA ARTE .....</b>	<b>3</b>
2.1 INTRODUÇÃO .....	3
2.2 SISTEMA ELÉTRICO NACIONAL (SEN).....	3
2.3 REGULAMENTAÇÃO NACIONAL .....	4
2.3.1 <i>Regulamento de Segurança de Linhas Elétricas de Alta Tensão</i> <i>(RSLEAT)</i> .....	4
2.3.2 <i>Norma Europeia EN50341</i> .....	5
2.4 CONSTITUINTES DA LINHA ELÉTRICA AÉREA .....	6
2.4.1 <i>Condutor</i> .....	7
2.4.2 <i>Isoladores de cadeia e cadeias</i> .....	9
2.4.3 <i>Armações</i> .....	14
2.4.4 <i>Apoios</i> .....	15

2.4.5	Balizagem.....	20
2.5	ESTUDO DO TRAÇADO DA LINHA.....	24
<b>3</b>	<b>- CÁLCULOS.....</b>	<b>27</b>
3.1	INTRODUÇÃO.....	27
3.2	CÁLCULO ELÉTRICO.....	27
3.2.1	Tensão Nominal.....	28
3.2.2	Corrente de Serviço.....	28
3.2.3	Intensidade da corrente de curto-circuito máxima admissível.....	29
3.2.4	Parâmetros Físicos.....	30
3.2.5	Parâmetros Elétricos.....	33
3.2.6	Queda de Tensão.....	35
3.2.7	Perdas de Energia.....	35
3.3	CÁLCULO MECÂNICO.....	36
3.3.1	Tensão Máxima de Tração.....	36
3.3.2	Ação dos Elementos Externos.....	37
3.3.3	Estados Atmosféricos.....	44
3.3.4	Coeficientes de Sobrecarga.....	45
3.3.5	Vão Equivalente.....	46
3.3.6	Equação de Mudança de Estado.....	47
3.3.7	Vão Crítico.....	48
3.3.8	Estado Atmosférico mais Desfavorável.....	49
3.3.9	Curvas de um Condutor.....	50
3.3.10	Distâncias Mínimas Regulamentares.....	54
3.3.11	Movimento Transversal das Cadeias em Suspensão.....	58
3.3.12	Resistência Mecânica dos Apoios.....	60
3.3.13	Cálculo Mecânico das Armações.....	69
<b>4</b>	<b>- COMPARAÇÃO ENTRE O RSLEAT E A EN50341.....</b>	<b>73</b>
4.1	DIFERENÇAS ENTRE OS REGULAMENTOS.....	73
4.2	CASO PRÁTICO.....	76
<b>5</b>	<b>- CONCLUSÕES E TRABALHO FUTURO.....</b>	<b>87</b>
5.1	CONCLUSÕES.....	87
5.2	TRABALHO FUTURO.....	90
	<b>BIBLIOGRAFIA.....</b>	<b>91</b>

## Lista de Tabelas

TABELA 2.1 - LINHAS DE FUGA PARA OS NÍVEIS DE POLUIÇÃO (EDP, 2008A) .....	12
TABELA 2.2 - CADEIAS DE ISOLADORES NORMALIZADAS (EDP, 2008B).....	13
TABELA 2.3 - CARATERÍSTICAS DE TERRENOS (RSLEAT, 1992) .....	19
TABELA 3.1 - CONSTANTES $K_1$ E $K_2$ DE CADA MATERIAL (DGE, 1986) .....	30
TABELA 3.2 - TRAÇÕES MÁXIMAS DE SERVIÇO (DGE, 1986).....	37
TABELA 3.3 - COEFICIENTE DE REDUÇÃO (RSLEAT, 1992).....	40
TABELA 3.4 COEFICIENTE DE FORMA (RSLEAT, 1992).....	40
TABELA 3.5 PRESSÃO DINÂMICA DO VENTO E RESPECTIVA VELOCIDADE (RSLEAT, 1992) .....	41
TABELA 3.6 - VELOCIDADES DO VENTO DEFINIDAS PARA AS DIFERENTES ZONAS (EN-50341, 2012) .....	43
TABELA 3.7 - PRESSÃO DINÂMICA DO VENTO EM FUNÇÃO DA ALTURA $h$ E DA ZONA DE VENTO (EN-50341, 2012) 43	
TABELA 3.8 - FATOR DE FORMA EM FUNÇÃO DO DIÂMETRO DO CONDUTOR (EN-50341, 2012).....	44
TABELA 3.9 - ESTADOS ATMOSFÉRICOS .....	44
TABELA 3.10 - DISTÂNCIAS MÍNIMAS REGULAMENTARES (RSLEAT, 1992) .....	55
TABELA 3.11 - DISTÂNCIAS MÍNIMAS REGULAMENTARES (ADAPTADO DE SEQUEIRA, 2009) .....	57
TABELA 3.12 - APOIOS DE ALINHAMENTO E DE ÂNGULO .....	61
TABELA 3.13 - APOIOS DE DERIVAÇÃO EM ALINHAMENTO OU EM ÂNGULO.....	63
TABELA 3.14 - APOIOS DE FIM DE LINHA .....	64
TABELA 3.15 - APOIOS DE REFORÇO EM ALINHAMENTO OU EM ÂNGULO.....	65
TABELA 3.16 - APOIOS DE REFORÇO EM DERIVAÇÃO .....	66
TABELA 3.17 - CÁLCULO MECÂNICO DAS ARMAÇÕES DE ALINHAMENTO (DGE, 1986).....	70
TABELA 3.18 - CÁLCULO MECÂNICO DAS ARMAÇÕES DE ÂNGULO (DGE, 1986).....	70
TABELA 3.19 - CÁLCULO MECÂNICO DAS ARMAÇÕES DE REFORÇO EM ALINHAMENTO (DGE, 1986) .....	71
TABELA 3.20 - CÁLCULO MECÂNICO DAS ARMAÇÕES DE REFORÇO EM ÂNGULO (DGE, 1986) .....	71
TABELA 3.21 - CÁLCULO MECÂNICO DAS ARMAÇÕES DE DERIVAÇÃO (DGE, 1986).....	72
TABELA 3.22 - CÁLCULO MECÂNICO DAS ARMAÇÕES DE FIM DE LINHA (DGE, 1986) .....	72
TABELA 4.1 - DIFERENÇAS ENTRE O RSLEAT E A EN50341 .....	73
TABELA 4.2 - CARATERIZAÇÃO DA LINHA EM PROJETO.....	77
TABELA 4.3 - RELAÇÃO ENTRE OS VÃOS MÁXIMOS PERMITIDOS PELO CONDUTOR AL-AÇO 160 .....	79
TABELA 4.4 - DISTÂNCIA MÉDIA ENTRE APOIOS DE REFORÇO .....	80
TABELA 4.5 - ESFORÇOS SOBRE APOIOS DE ÂNGULO .....	81
TABELA 4.6 - ESFORÇOS SOBRE APOIOS DE REFORÇO.....	82

TABELA 4.7 - ESFORÇOS SOBRE APOIOS DE ÂNGULO APLICANDO COEFICIENTES DE SEGURANÇA.....	83
TABELA 4.8 - ESFORÇOS SOBRE APOIOS DE REFORÇO APLICANDO COEFICIENTES DE SEGURANÇA.....	83
TABELA 4.9 - COMPARAÇÃO ENTRE AS DISTÂNCIAS MÍNIMAS AOS OBSTÁCULOS.....	84

# Índice de Figuras

FIGURA 2.1 – ISOLADOR DE CADEIA.....	10
FIGURA 2.2 CADEIAS DE ISOLADORES: A) CADEIA DE SUSPENSÃO; B) CADEIA DE AMARRAÇÃO.....	11
FIGURA 2.3 – DISPOSITIVO ANTINIDIFICAÇÃO .....	22
FIGURA 2.4 - ESPIRAL DE SINALIZAÇÃO SIMPLES (EDP, 2013B) .....	23
FIGURA 3.1 - FEIXE DE TRÊS CONDUTORES (ADAPTADO DE (LABEGALINI ET AL., 1992)) .....	32
FIGURA 3.2 - FORÇAS SOBRE UM CONDUTOR .....	45
FIGURA 3.3 - FLUXOGRAMA DE DECISÃO DO ESTADO ATMOSFÉRICO MAIS DESFAVORÁVEL (MADUREIRA, 2009)...	49
FIGURA 3.4 - COMPARAÇÃO ENTRE AS CURVAS DA CATENÁRIA E DA PARÁBOLA (ADAPTADO DE AVRIL, 1974) .....	50
FIGURA 3.5 - CATENÁRIA FORMADA POR UM CONDUTOR EM VÃO NIVELADO .....	51
FIGURA 3.6 - CATENÁRIA FORMADA POR UM CONDUTOR EM VÃO DESNIVELADO (ADAPTADO DE CHECA, 1988) .....	52
FIGURA 3.7 - APOIO ENFORCADO.....	54
FIGURA 3.8 - MOVIMENTO TRANSVERSAL DA CADEIA DE ISOLADORES EM SUSPENSÃO .....	59
FIGURA 3.9 - ESQUEMA SIMPLIFICADO DOS ESFORÇOS SOBRE O APOIO .....	62
FIGURA 5.1 - FLECHAS MÁXIMAS POR TRAVESSA, PARA AL-AÇO 160 MM <sup>2</sup> COM T <sub>MAX</sub> DE 9 DAN/MM <sup>2</sup> .....	88
FIGURA 5.2 - VÃOS MÁXIMOS POR TRAVESSAS, PARA AL-AÇO 160 MM <sup>2</sup> COM T <sub>MAX</sub> DE 9 DAN/MM <sup>2</sup> .....	89



# Lista de Siglas e Símbolos

## SIGLAS

AE	Autoestradas
AT	Alta Tensão
BT	Baixa Tensão
CENELEC	European Committee for Electrotechnical Standardization
CN	Comité Nacional Português
CORIEL	Comissão para o Estudo e Revisão das Instalações Elétricas
DGE	Direção Geral de Energia
DGEG	Direção Geral de Energia e Geologia
EM	Estrada Municipal
ERSE	Entidade Reguladora dos Serviços Energéticos
FCT	Faculdade de Ciências e Tecnologias
IC	Itinerário Complementar
ICNF	Instituto da Conservação da Natureza e das Florestas
IP	Itinerário Principal
MAT	Muito Alta Tensão
MT	Média Tensão
ORD	Operador da Rede Nacional de Distribuição

RAN	Reserva Agrícola Nacional
REN	Reserva Ecológica Nacional
RLIE	Regulamento de Licenças de Instalações Elétricas
RND	Rede Nacional de Distribuição
RNT	Rede Nacional de Transporte
RSLEAT	Regulamento de Seguranças de Linhas Elétricas de Alta Tensão
SEN	Sistema Elétrico Nacional
UNL	Universidade Nova de Lisboa

## SÍMBOLOS

$\alpha$	Coeficiente de redução	
$\alpha_{20}$	Coeficiente de temperatura do material a 20 °C	[°C <sup>-1</sup> ]
$\alpha_d$	Coeficiente de dilatação térmica do condutor	[°C <sup>-1</sup> ]
$\beta$	Ângulo formado pelo movimento dos isoladores	[°]
$\Delta U$	Queda de tensão	[V]
$\varepsilon_0$	Permitividade elétrica do vácuo	[C <sup>2</sup> · N <sup>-1</sup> · m <sup>-2</sup> ]
$\theta$	Temperatura de exploração	[°C]
$\mu$	Permeabilidade magnética do condutor	[H/m]
$\mu_0$	Permeabilidade magnética do ar	[H/m]
$\rho$	Resistividade elétrica	[Ω · mm <sup>2</sup> /km]
$\rho_{AR}$	Densidade do ar	[kg/m <sup>3</sup> ]
$\rho_g$	Densidade do gelo	[kg/m <sup>3</sup> ]



$\sigma$	Condutividade elétrica	[S · km/mm <sup>2</sup> ]
$\omega$	Frequência angular	[°C]
$\omega_C$	Peso específico do condutor	[daN/m]
$A$	Área da superfície batida pelo vento	[m <sup>2</sup> ]
$B$	Susceptância por unidade de comprimento	[S · km <sup>-1</sup> ]
$c$	Coeficiente de forma	
$C$	Capacidade	[F/km]
$C_C$	Fator de forma	
$\cos(\varphi)$	Fator de potência	
$d$	Diâmetro do condutor	[mm]
$D$	Média geométrica da distância entre condutores	[mm]
$D_{el}$	Distância mínima entre os condutores e a terra	[mm]
$D_g$	Distância de garantia	[m]
$D_{pp}$	Distância mínima entre condutores	[mm]
$e$	Espessura da manga de gelo	[m]
$E$	Módulo de elasticidade	[daN/mm <sup>2</sup> ]
$f$	Flecha de uma catenária	[m]
$F_l$	Solicitação horizontal longitudinal por vão adjacente e por fase	[daN]
$F_L$	Solicitação horizontal longitudinal por fase	[daN]
$F_P$	Solicitação nominal principal batida a vento	[daN]
$F_S$	Solicitação nominal secundária batida a vento	[daN]
$F_T$	Solicitação horizontal transversal por fase	[daN]
$F_V$	Força do vento	[daN]

$F_{VC}$	Força do vento sobre os condutores	[daN]
$F_{VI}$	Força do vento sobre a cadeia de isoladores	[daN]
$F_{VT}$	Solicitação vertical por fase	[daN]
$F_X$	Esforço resultante em x	[daN]
$F_Y$	Esforço resultante em y	[daN]
$F_Z$	Esforço resultante em z	[daN]
$G$	Condutância por unidade de comprimento	[G · km <sup>-1</sup> ]
$G_C$	Fator de ressonância estrutural	
$G_q$	Fator de rajada	
$I_K$	Carga de gelo	[N/m]
$I_{MAX}$	Corrente de curto-circuito máxima	[kA]
$I_s$	Corrente de serviço	[A]
$k_g$	Fator de rajada	
$K_1$	Constante do material condutor	[mm <sup>2</sup> · kA <sup>-1</sup> · s <sup>1/2</sup> ]
$K_2$	Coeficiente de temperatura	
$l$	Comprimento da linha	[km]
$L$	Comprimento do vão	[m]
$L$	Coeficiente de autoindução	[H · km <sup>-1</sup> ]
$L_C$	Comprimento do vão crítico	[m]
$L_e$	Comprimento do vão equivalente	[m]
$L_i$	Comprimento de cada vão pertencente ao cantão	[m]
$m$	Coeficiente de sobrecarga	
$N$	Número de condutores	
$P$	Parâmetro da catenária	[m]
$P_C$	Peso do condutor	[daN]

$P_I$	Peso da cadeia de isoladores	[daN]
$P$	Potência nominal	[kW]
$P_A$	Peso aparente do condutor	[daN/m]
$P_{arm}$	Peso da armação	[daN]
$P_C$	Peso do condutor	[daN/m]
$P_G$	Peso da manga de gelo	[daN/m]
$P_P$	Perdas de potência	[kW]
$q$	Pressão dinâmica do vento	[Pa]
$q_h$	Pressão dinâmica do vento a uma altura h	[daN/m <sup>2</sup> ]
$Q_w$	Força do vento a uma altura h	[daN]
$r_c$	Raio dos condutores	[mm <sup>2</sup> ]
$R$	Resistência do condutor	[Ω]
$R'$	Raio equivalente do feixe de condutores	[mm]
$R_\theta$	Resistência à temperatura $\theta$	[Ω]
$R_{20}$	Resistência do condutor a 20 °C	[Ω]
$R_f$	Raio da circunferência formada pelos condutores	[mm]
$S$	Secção do condutor	[mm <sup>2</sup> ]
$S_L$	Comprimento da cadeia de isoladores	[m]
$t$	Tração aplicada ao condutor	[daN/mm <sup>2</sup> ]
$t$	Duração do curto-circuito	[s]
$T$	Tração aplicada ao condutor	[daN]
$U_C$	Tensão composta	[kV]
$v$	Velocidade do vento	[m/s]
$V$	Tensão nominal	[kV]
$V_g$	Velocidade de rajada do vento	[m/s]

$V_h$	Velocidade do vento a uma altura $h$	[m/s]
$V_{\text{média}}$	Velocidade média de vento	[m/s]
$V_R$	Velocidade de referência do vento	[m/s]
$X$	Reactância longitudinal	$[\Omega \cdot \text{km}^{-1}]$
$Y$	Admitância transversal	$[\text{S} \cdot \text{km}^{-1}]$
$Z$	Impedância longitudinal	$[\Omega \cdot \text{km}^{-1}]$

# 1 - Introdução

## *1.1 Enquadramento e Objetivos da Dissertação*

As linhas aéreas elétricas são estruturas que estão sujeitas constantemente a esforços variáveis por ação de elementos externos, como a temperatura, o vento e eventualmente o gelo, e a esforços permanentes, provenientes da tensão dos condutores e do peso próprio de todos os elementos da linha.

O conhecimento necessário para a execução de projeto de linhas aéreas excede o âmbito da engenharia eletrotécnica, incluindo-se outras áreas distintas: resistência dos materiais, mecânica dos solos, topografia, a legislação aplicável (ordenamento do território, proteção ambiental e da avifauna), entre outros.

O Decreto Regulamentar nº 1/92, de 18 de fevereiro de 1992, também designado por Regulamento de Segurança de Linhas Elétricas de Alta Tensão (RSLEAT), é o documento de referência para o dimensionamento das linhas elétricas aéreas em Portugal.

A norma europeia EN50341, aprovada em 2001, constitui uma base comum para todos os países da União Europeia e visa a uniformização dos princípios básicos no cálculo estrutural, geotécnico e mecânico para linhas elétricas aéreas de Alta Tensão.

Os objetivos da presente dissertação são:

- A realização de uma análise detalhada e comparativa das linhas elétricas aéreas até 30 kV, considerando o RSLEAT e a EN50341;
- A elaboração de dois projetos, sobre o mesmo perfil longitudinal, cada um de acordo com uma regulamentação;
- Verificação das diferenças de critérios, o impacto nas soluções de projeto e no custo de construção da linha elétrica aérea.

## ***1.2 Estrutura da Dissertação***

No segundo capítulo, é feita uma descrição dos elementos que constituem uma linha elétrica aérea, desde a base dos apoios até aos acessórios de sinalização utilizados nos condutores. Neste capítulo, são igualmente apresentados os condicionalismos inerentes ao estudo do traçado deste tipo de linha.

No terceiro, é desenvolvida a base teórica que sustenta o cálculo mecânico e elétrico utilizado no projeto de linhas elétricas aéreas até 30 kV.

No quarto capítulo, são apresentadas as diferenças resultantes da análise efetuada ao RSLEAT e EN50341 e aplicados todos os conceitos e definições de cada documento sob o mesmo perfil topográfico onde é realizada a comparação num caso concreto.

No último capítulo, são apresentadas as principais conclusões obtidas com a realização deste estudo e enumeradas propostas de trabalho futuro.

## 2 - Estado da Arte

### *2.1 Introdução*

Nos termos e para os efeitos do art. 4.º do RSLEAT, uma linha elétrica aérea é constituída pelo conjunto de condutores mantidos a uma altura conveniente acima do solo, isolados ou fixados a isoladores, destinados à distribuição ou transporte de energia elétrica.

### *2.2 Sistema Elétrico Nacional (SEN)*

O Sistema Elétrico Nacional (SEN) divide-se em cinco grandes grupos: produção, transporte, distribuição, comercialização até finalmente ser usufruída pelo consumidor (*Decreto-Lei n.º 29/2006*, 2006).

A Rede Nacional de Distribuição de Eletricidade em Média e Alta Tensão (RND), pertencente à Rede Elétrica de Serviço Público (RESP), completa a interligação entre as subestações e o consumidor final, através de linhas elétricas aéreas e subterrâneas. A RND é composta por linhas elétricas de 60 kV, de alta tensão (AT), e por linhas elétricas de 30 kV, 15 kV e 10 kV, consideradas de média tensão (MT) (*Portaria n.º 596/2010*, 2010). Como a RND é, maioritariamente, constituída por linhas aéreas (ERSE, 2019), a robustez deste tipo de linhas é de

extrema importância para a qualidade de serviço técnico e, conseqüentemente, tem grande impacto no desenvolvimento do país.

## ***2.3 Regulamentação Nacional***

### ***2.3.1 Regulamento de Segurança de Linhas Elétricas de Alta Tensão (RSLEAT)***

O Regulamento de Segurança de Linhas Elétricas de Alta Tensão, aprovado pelo Decreto Regulamentar nº 1/92, de 18 de fevereiro de 1992, resultou da revisão e atualização realizada pela outrora designada Direção Geral de Energia (DGE), na presente data Direção Geral de Energia e Geologia (DGEG), do anterior RSLEAT de 1966, Decreto nº 46847 de 27 de janeiro de 1966.

Este regulamento foi elaborado com o propósito de estabelecer os limites mínimos de segurança a que o projeto de linhas elétricas deve obedecer e é o documento base utilizado pela DGEG na aprovação dos projetos de linhas elétricas aéreas.

Em virtude das atualizações implementadas, o atual RSLEAT define como linha de alta tensão, aérea ou subterrânea, aquela em que o valor eficaz ou o valor constante da tensão nominal excede os 1000 V em corrente alternada ou os 1500 V em corrente contínua.

Neste regulamento, as instalações são divididas por classes de acordo com as tensões nominais que apresentam. A primeira classe engloba todas as instalações cuja tensão nominal não ultrapasse 1000 V em corrente alternada ou 1500 V em corrente contínua. À segunda classe pertencem as instalações cuja tensão nominal é superior aos valores anteriores e inferior a 40 kV e da terceira classe fazem parte as instalações com tensões nominais superiores. Em relação ao anterior, o atual RSLEAT passou a contemplar igualmente as muito altas tensões (MAT).



Este regulamento é composto por 168 artigos e, sistematicamente, distribuídos por 17 capítulos. Os mais relevantes são: o capítulo o III, sobre condutores para linhas elétricas aéreas; o capítulo V, que aborda os apoios; e o capítulo VIII, que incide sobre as travessias e cruzamentos em linhas elétricas aéreas.

#### ***2.3.1.1 Projetos-Tipo***

O Regulamento de Licenças de Instalações Elétricas (RLIE) define que devem ser elaborados projetos de instalações elétricas tipo, para que as soluções sejam padronizadas, permitindo omitir a maior parte das descrições extensivas, cálculos correntes e desenhos de pormenor (*RLIE*, 1936).

Em 1977, foi aprovado o “Projecto-Tipo de Linhas Aéreas até 30 kV” onde é estabelecido um conjunto de regras base a considerar na conceção das linhas elétricas aéreas até 30 kV, para simplificar a constituição do projeto de licenciamento e facilitar a sua análise e aprovação (*Projecto-Tipo de Linhas Aéreas até 30 kV*, 1977).

Em 1986, a DGE remodelou e atualizou o “Projecto-Tipo de Linhas Aéreas até 30 kV”, que resultou nas “Recomendações para Linhas Aéreas de Alta Tensão, até 30 kV”, incidindo sobre a fase de projeto, de execução e de exploração de linhas elétricas aéreas. Nestas recomendações, são, também, revistas soluções referentes aos materiais empregues e à conceção das linhas. Por se tratarem de recomendações, as prescrições presentes nos projetos-tipo são orientações sem caráter vinculativo.

#### ***2.3.2 Norma Europeia EN50341***

A primeira versão da norma europeia EN50341, Linhas elétricas aéreas de tensão superior a 45 kV C.A., foi elaborada e preparada pelo Comité Técnico do CENELEC (European Committee for Electrotechnical Standardization) e aprovada em 2001. Este documento constitui uma base comum para todos os países da União

Europeia e visa a uniformização dos princípios básicos de projeto e de manutenção de linhas aéreas.

Neste documento, que se aplicava apenas a linhas elétricas aéreas de tensão nominal superior a 45 kV, propôs-se a data de 1 de janeiro de 2004 para se retirarem do ordenamento jurídico as normas nacionais conflitantes com o mesmo.

Em 2012, esta norma foi atualizada e a sua aplicação foi estendida a todas as linhas aéreas a operar a tensões superiores a 1 kV, em corrente alternada. A referida norma é composta por duas partes: a primeira parte, desenvolve-se em 12 capítulos principais e contém 16 anexos, abordando os requisitos gerais e na segunda parte do documento estão presentes os Aspectos Normativos referentes a cada país. Para a aplicação em Portugal, devem apenas ser consideradas a primeira parte (EN 50341-1) e os aspetos normativos nacionais (EN 50341-2-17) preparados pelo Comité Nacional Português (CN).

## ***2.4 Constituintes da linha elétrica aérea***

Para a elaboração de um projeto é necessário um conhecimento profundo dos elementos que a constituem e das suas características, de forma a selecionar, para cada situação, a solução técnico e económica, mais adequada.

Os elementos que integram as linhas elétricas aéreas são (Labegalini et al., 1992):

- Condutores;
- Cadeias de Isoladores;
- Armações;
- Aparelhagem de seccionamento e/ou corte;
- Apoios e Fundações.

### 2.4.1 Condutor

O condutor é o elemento principal de uma linha, destinado à condução de energia elétrica e constituído por um ou vários fios devidamente agrupados (*RSLEAT*, 1992; *EN-50341*, 2012).

Existem diversas características a considerar no momento da seleção do condutor que melhor se ajusta a cada circunstância. O condutor ideal será aquele que reúne as seguintes características (Fuchs, 1979):

- Alta condutividade elétrica;
- Boa resistência mecânica;
- Alta resistência à oxidação e corrosão;
- Alta resistência à temperatura (Incêndio);
- Baixa massa;
- Baixo custo.

Como alguns dos atributos acima mencionados conflituam entre si, a escolha dos condutores incide sobre aquele que reúna a melhor conjugação de todas as características mencionadas, tendo em consideração a sua condição de funcionamento e os condicionalismos do meio envolvente.

As características que diferenciam os condutores estão relacionadas com a natureza do metal, composição da alma condutora e do revestimento exterior.

Com bases nestes atributos, os condutores de linhas aéreas de MT podem ser de composição (*RSLEAT*, 1992):

- **Unifilar** - constituído por apenas um único fio;
- **Multifilar** - constituído por vários fios sem isolamento entre si;
- **Nu** - condutor que não possui qualquer isolamento exterior;
- **Isolado** - Revestido de uma ou mais camadas de material isolante que assegura o seu isolamento elétrico;
- **Isolado agrupado em feixe (torçada)** - Cabos isolados apropriados para linha aérea de alta tensão cableados em torno de um tensor isolado.

Os dois últimos cabos, suprarreferidos, excedem o âmbito deste estudo, pelo que não serão aprofundados.

A cláusula 2.2.16.1 da EN50341-1 define um outro tipo de condutor designado por **cabo coberto**, cujo revestimento de material isolante protege o condutor contra contactos acidentais com outros condutores, mas não garante o seu completo isolamento contra quaisquer outros tipos de contacto.

Focando a natureza do metal constituinte, ambos os documentos indicam que se deve utilizar condutores nus de cobre, de alumínio ou de ligas de alumínio, embora a utilização de condutores de cobre tenha vindo a tornar-se cada vez menos recorrente.

O alumínio e as suas ligas apresentam-se como os materiais mais comuns na constituição dos condutores de linhas elétricas aéreas devido às vantagens económicas e técnicas que apresentam. O valor acrescido do cobre e a elevada propensão para a ocorrência de furtos são fatores determinantes na utilização do alumínio em detrimento do cobre.

Para melhorar as características mecânicas dos cabos de alumínio, alguns condutores são constituídos por uma alma de aço galvanizada, a qual é envolvida por sucessivas camadas de fio de alumínio ou de uma liga (EDP, 2010a).

Comparando ambos os materiais, o alumínio possui ainda as seguintes vantagens (SOLIDAL, 2001):

- Melhor relação condutividade elétrica/peso;
- Melhor relação resistência mecânica/peso;
- Baixo preço associado à sua estabilidade no tempo.

A aplicação de condutores nus de alumínio ou de liga de alumínio, com ou sem alma de aço é, em Portugal, um procedimento generalizado há mais de 30 anos, sendo a escolha do condutor baseada nos agentes físicos e químicos a que possa estar sujeito.

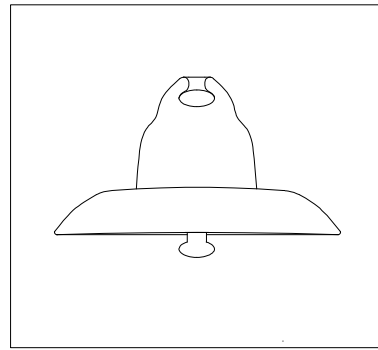
Atualmente, os condutores utilizados na rede de distribuição até 30 kV são, predominantemente, de alumínio (ACSR Al-Aço) que, quando expostos a incêndios florestais, oferecem uma maior resistência mecânica em relação aos condutores de liga de alumínio (AAAC-ASTER) (EDP, 2010a). Estes últimos são mais adequados às zonas costeiras, ambientes com elevada poluição salina e industrial (EDP, 2013a).

As características dos condutores normalizados pela EDP Distribuição para linhas elétricas aéreas de MT são as apresentadas no Anexo A.

#### ***2.4.2 Isoladores de cadeia e cadeias***

As cadeias de isoladores (ou simplesmente cadeias) são elementos constituintes das linhas elétricas aéreas, fixadas articuladamente às estruturas de apoio e destinados a garantir as condições de isolamento dos condutores (RSLEAT, 1992).

Os isoladores de cadeias (ou simplesmente isoladores) são constituídos por material cerâmico, vidro temperado ou polimérico e montados em série, para aumentar a rigidez dielétrica do conjunto e permitir a adequação da cadeia ao nível de tensão da linha elétrica. Atualmente, os mais utilizados em linhas elétricas aéreas de MT são os isoladores de vidro, devido à sua fiabilidade a longo prazo, boa resistência à perfuração e, principalmente, pela evidência visual dos defeitos internos (EDP, 2008b).



**Figura 2.1 – Isolador de cadeia**

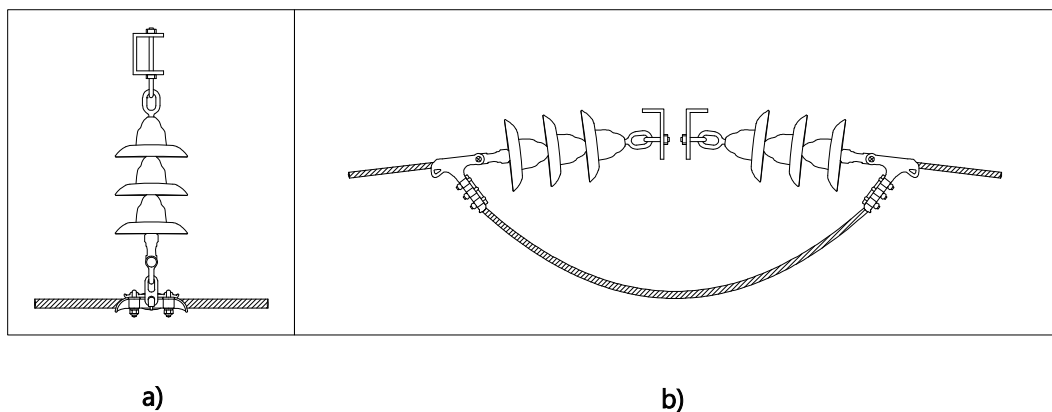
As principais características do isolador, segundo as normas IEC 60120, IEC 60305 e IEC 60383-1, são:

- **Dimensionais:**
  - Diâmetro nominal da parte isolante  $D$  [mm];
  - Passo nominal  $P$  [mm];
  - Linha de fuga nominal mínima  $L$  [mm];
  - Diâmetro do espigão  $d_1$  [mm];
- **Mecânicas:**
  - Força de rotura eletromecânica ou mecânica [kN];
- **Elétricas:**
  - Tensão suportável especificada à frequência industrial sob chuva (kV eficaz, a 50Hz);
  - Tensão suportável especificada ao choque atmosférico, a seco [kV pico];
  - Tensão suportável especificada de perfuração à frequência industrial dos elementos de cadeia [kV eficaz].

Define-se igualmente como grau do isolamento, a relação entre o comprimento da linha de fuga da cadeia, em mm, e a tensão nominal da linha, em kV (EDP, 2008a).

Estas características são determinantes na escolha da solução de isolamento pois, independentemente da regulamentação a que a conceção da linha esteja sujeita, estão sempre definidas as condições de exploração e os valores mínimos que a cadeia tem de garantir.

Em função dos acessórios e da pinça aplicados ao conjunto de isoladores, a cadeia é designada de cadeia de suspensão ou de amarração, conforme suspende ou fixa o cabo, como ilustra a Figura 2.2.



**Figura 2.2 Cadeias de Isoladores: a) Cadeia de Suspensão; b) Cadeia de Amarração**

As cadeias podem ser equipadas com hastes de descarga que, aplicadas junto às pinças, promovem a localização do estabelecimento dos arcos de descarga elétrica de forma a proteger os isoladores (EDP, 2007).

A cadeias de amarração podem ainda ser classificadas como: descendentes, situação corrente, quando o corpo dos isoladores, vulgarmente conhecido por saias, está montado no sentido da pinça de amarração; ou ascendentes, situação extraordinária, quando as saias dos isoladores estão montadas no sentido inverso (EDP, 2007). Estas são utilizadas quando o ponto de fixação do condutor se encontra acima do ponto de fixação da cadeia, de forma a impedir a acumulação de água proveniente da excessiva humidade atmosférica ou chuva.

À frequência industrial, o desempenho de uma linha aérea é determinado pelo comportamento das cadeias de isoladores relativamente às condições ambientais a que está sujeita. Em locais de elevado nível de poluição, o comportamento dos isoladores pode ser influenciado negativamente pelo depósito de poluição salina e/ou industrial na sua superfície externa, resultando numa redução da sua rigidez dielétrica (EDP, 2008a).

Estes fatores devem ser tidos em consideração na seleção do tipo e quantidade de isoladores e consequentes linhas de fuga.

Na Tabela 2.1 são apresentados os valores mínimos da linha de fuga específica para cada nível de poluição pelo ORD .

**Tabela 2.1 - Linhas de fuga para os níveis de poluição (EDP, 2008a)**

<b>Nível de Poluição</b>	<b>Linha de fuga específica [mm/kV]</b>
Médio	20
Forte	25
Muito Forte	31

O nível de isolamento da linha deve prever também sobretensões temporárias, de manobra, atmosféricas e longitudinais. Desta forma, a conceção da linha deve adequar a suportabilidade dielétrica das cadeias à do ar, garantido a distância mínima entre fases e entre estas e a terra, por forma a maximizar o nível de coordenação de isolamento da linha e, consequentemente, da rede (EDP, 2008a).

Segundo a norma CEI 60071-1, o valor da coordenação de isolamento de redes de distribuição, deve estar situada entre 1 kV e 245 kV. O RSLEAT aborda o conceito no art. 48.º sem quantificar níveis mínimos e a EN50341 desenvolve o tema fixando como valor mínimo 250 kV.



O Operador da Rede Nacional de Distribuição (ORD) definiu, em 2007, o nível de coordenação de isolamento de 250 kV para a RESP, estipulando, para o efeito, as cadeias de isoladores apresentadas na Tabela 2.2.

Tabela 2.2 - Cadeias de isoladores normalizadas (EDP, 2008b)

Nível de poluição	Médio [20 mm/kV]		Muito forte [31 mm/kV]	
Isolamento da linha	Normal	Reforço	Normal	Reforço
10 kV ou 15 kV	3x U70BS	3x U100BLP	3x U70BS	3x U100BLP
30 kV	3x U70BS	3x U100BLP	3x U100BLP	3x U100BLP+HA1

Por imposições regulamentares, previstas no art.º 89 do RSLEAT, as hastes de descarga não são utilizadas em linhas até 30 kV excetuando-se os casos em que é utilizado isolamento reforçado (linha de fuga de 31 mm/kV) consecutivamente, em quatro apoios ou mais, devendo ser utilizado este acessório em um ou mais desses apoios.

A conceção da linha deve adequar também a suportabilidade dielétrica das cadeias à do ar, garantido a distância mínimas entre fases e, entre estas e a terra, para garantia da manutenção do nível de coordenação de isolamento das cadeias.

As distâncias mínimas entre condutores e entre estes e a terra, para um nível de coordenação de isolamento de 250 kV, são (EDP, 2008a):

- Fase-terra,  $D_{el}$  - 480 mm
- Fase-fase,  $D_{pp}$  - 540 mm

No *supra* exposto, não foram referidos os isoladores rígidos de eixo vertical, onde são fixados os condutores na cabeça ou gola do isolador, por afilamento, predominantes nas linhas construídas até à década de 1980, por ser considerada uma tecnologia obsoleta (EDP, 2000).

### 2.4.3 Armações

As armações são estruturas de aço, fixas no topo dos apoios, destinadas a suportar as cadeias de isoladores e, em conjunto, garantir a distância necessária entre os condutores e entre estes e o apoio. São constituídas por um conjunto de ferragens e acessórios de fixação que devem ser submetidos a um processo de galvanização a quente por forma a adquirirem um revestimento de proteção contra a corrosão, devendo este apresentar aspeto liso e uniforme (EDP, 2018).

A geometria dos condutores definida pela travessa condiciona o comprimento dos vãos devido à possibilidade de aproximação dos condutores pelas oscilações provocadas pelo vento.

Sem prejuízo de, em casos especiais, poder ser projetada uma travessa adequada, as travessas de utilização corrente foram normalizadas no Projeto-Tipo, posteriormente pela DGE nas "Recomendações para as linhas aéreas de alta tensão, até 30kV" e na última década pela EDP Distribuição, para dar resposta às novas solicitações de mitigação do impacto das linhas na avifauna.

A designação atribuída pela DGE às travessas é composta por três letras, nas quais a primeira representa a geometria dos condutores e as duas seguintes a função do apoio na linha, seguidas da sua largura em mm.

A geometria das armações normalizadas são:

- Esteira horizontal - H
- Triângulo - T
- Galhardete - G
- Esteira vertical - V
- Pórtico - P (esteira horizontal suportada por dois apoios)

A função das travessas de acordo com as hipóteses de cálculos dos apoios previstas nos art. 56.º a 62.º do RSLEAT são:

- Alinhamento - AL
- Angulo - AN
- Derivação - DR
- Reforço - RF
- Fim de Linha - FL
- Seccionamento - SC (exceção, não consta nos Artigos referidos)

As travessas normalizadas posteriormente pela EDP foram designadas de acordo com este princípio, adicionando-lhe mais alguns caracteres para as diferenciar das restantes, conforme o quadro apresentado no Anexo B.

A seleção de cada travessa deve considerar a disposição geométrica dos condutores definida para a linha, a função o apoio correspondente, a distância de segurança mínima a garantir entre os condutores em toda a extensão do vão e, ainda, os esforços mecânicos a que está sujeita.

A verificação dos esforços mecânicos a que as travessas estão sujeitas deve ser validada nos correspondentes diagramas de utilização. No Anexo A, é apresentado um diagrama de utilização de uma armação GAL.

#### **2.4.4 Apoios**

Os apoios de uma linha aérea são os elementos destinados a suportar as travessas, as cadeias de isoladores, os condutores e a garantir a ligação à terra de todos os elementos passivos (*RSLEAT*, 1992; *EN-50341*, 2012).

Para determinar a seleção dos critérios de cálculo é necessário classificar a função dos apoios na linha, que se dividem em:

- Apoio de alinhamento;
- Apoio de ângulo;
- Apoio de derivação (alinhamento ou ângulo);
- Apoio de reforço (alinhamento ou ângulo);
- Apoio de fim de linha.

A condição de reforço pode ser cumulativa com a de derivação.

A seleção do apoio deve garantir que este tem esforços nominais, nos dois eixos do plano cartesiano, superiores aos resultantes das hipóteses de cálculo condicionadas pela função que lhe foi atribuída (EDP, 2004).

Dependendo da resultante dos esforços horizontais aplicados no eixo do apoio, este é orientado no sentido da linha ou perpendicularmente a esta, se for de alinhamento, ou na bissetriz do ângulo ou perpendicularmente a esta, se for de ângulo, na situação que, de acordo com incidência do vento, lhe for mais favorável (EDP, 2004).

Os apoios das linhas elétricas aéreas de MT são constituídos por postes de betão armado ou aço reticulado. Atualmente, são utilizados predominantemente os apoios de betão devido ao seu menor custo e de necessitarem de uma menor área de implantação.

Os postes de aço reticulado, também designados simplesmente por postes metálicos, apresentam como vantagem a maior facilidade de transporte, sendo a sua utilização restringida a locais de difícil acesso (Cardoso, 2016).

A designação dos apoios de betão armado é um conjunto alfanumérico composto por (EDP, 2004):

- **Altura total** [m];
- **Código de utilização**, (B-baixa tensão, M-média tensão e A-alta tensão);
- **Código das dimensões do topo do poste**;
- **Solicitação principal** [daN];
- **Solicitação secundária** [daN].

Tome-se como exemplo: a designação completa de um apoio com 18 m de altura, com a solicitação principal igual a 1600 daN, é 18MP04-1600-740, simplifadamente 18MP04-1600 ou ainda 18M1600.

As principais caraterísticas de apoio ao dimensionamento destes postes são:

- Solicitações nominais, segundo cada eixo de inércia, definidas nos diagramas de utilização ou nas equações de esforços;
- Solicitação nominal à torção [daN·m];
- Dimensões físicas do poste.

A designação dos apoios reticulados em aço, de acordo com a DMA-C67-010/N, é um conjunto alfanumérico composto por (EDP, 2008c):

- **Identificação da série**;
- **Solicitação nominal** [kN];
- **Geometria da travessa**;
- **Altura útil** [m].

Tome-se como exemplo: a designação de um apoio com 27 m de altura, para uma linha em galhardete, com a solicitação igual a 30 kN, é F30CM27.

Saliente-se que a solicitação nominal indicada na designação do poste se refere ao esforço nominal, de acordo com a função do apoio, discriminado por consola e que a altura útil é a distância do solo ao ponto de fixação da consola inferior (EDP, 2008c).

#### **2.4.4.1 Terra de Proteção**

Para segurança das pessoas, todos os equipamentos da linha devem estar ligados à terra. Os apoios de betão armado têm pontos de ligação específicos para o efeito, com a continuidade elétrica assegurada por um condutor de cobre no interior do poste. O terminal da base do apoio destina-se a ligar o condutor de terra e o terminal do topo à ligação de todos os equipamentos que venham a ser aplicados (EDP, 2010b).

As instalações de terra, constituídas por elétrodos enterrados no solo e pelos condutores de terra que fazem a ligação dos elétrodos aos equipamentos, devem apresentar resistências mecânica e à corrosão adequadas e suportar uma elevada corrente de defeito por forma a precaver danos nos equipamentos (*EN-50341*, 2012).

Todos os apoios deverão ser individualmente ligados à terra por intermédio dos elétrodos de terra, verticais ou horizontais, enterrados sempre que possível, nas partes mais húmidas (EDP, 2013c).

No dimensionamento dos circuitos de terra, a cláusula 6.2.4.3/PT.1 da EN50341-2-17 define as seguintes categorias, de acordo com a densidade populacional registada nas imediações da instalação:

- **Zonas públicas** - locais com elevada densidade populacional ainda que em ocasiões particulares
- **Zonas frequentadas** - zonas caracterizada pela presença humana frequente
- **Zonas pouco frequentadas** - zonas onde a presença humana é rara
- **Zonas não frequentadas** - zonas onde a presença humana é bastante rara

Na ocorrência de descargas, a tensão de contacto não deve ultrapassar os 189 V nas zonas públicas e 225 V nas zonas frequentadas e a tensão de passo

não deve exceder os 262 V em zonas públicas e os 355 V em zonas frequentadas (EN-50341, 2012).

#### 2.4.4.2 Maciços e Fundações

Todos apoios são implantados em covas abertas para o efeito, com dimensões definidas onde é efetuado o maciço, para garantir a sua estabilidade e transferir para o solo, o peso e a resultante dos esforços derrubantes (RSLEAT, 1992).

As fundações para cada apoio devem ser projetadas tendo em conta a natureza do terreno onde serão implantados, os esforços envolvidos e a altura do apoio. Para efeitos de cálculo das fundações, as características do terreno constam num anexo do RSLEAT e baseiam-se no coeficiente de compressibilidade do terreno, isto é, na força necessária para se conseguir penetrar 1 cm de profundidade uma placa de 1 cm<sup>2</sup> de superfície. Na Tabela 2.3 são apresentados os diversos tipos de terrenos e o respetivo coeficiente de compressibilidade.

Tabela 2.3 - Características de terrenos (RSLEAT, 1992)

Natureza do solo		Coeficiente de compressibilidade [daN/cm <sup>3</sup> ]
Lodo, Turfa e terreno sedimentar em geral		0
Areia fina e média até 1 mm de diâmetro de grão		6 a 8
Areia grossa até 3 mm de diâmetro de grão e areão com pelo menos 1/3 do volume de calhau rolado com 70 mm de diâmetro		8 a 10
Terreno coerente (barro, argila)	Muito mole	0
	Mole	2 a 4
	Consistente	5 a 7
	Médio	8
	Rijo	9

As fundações para apoios de betão são constituídas por um maciço único, onde a carga predominante é o momento derrubante (EN-50341, 2012). Em Portugal, o ORD dimensiona as fundações utilizando o método de Sulzberger, que se baseia principalmente no pressuposto de que o maciço pode girar um

ângulo  $\alpha$ , definido por  $\text{tg}\alpha = 0,01$ , sem ter em consideração as características do terreno. Neste sentido, padronizou as dimensões das covas e as características do betão do maciço no caderno de encargos da EC2015, para cada tipo e altura de poste (EDP, 2015).

Na secção V, Artº 73 e 74, o RSLEAT, sem se referir um método, definem-se as condições de colocação dos postes no solo, profundidade mínima de enterramento, a inclinação máxima de 1% em apoios de betão e os coeficientes de segurança ao derrubamento, 1,5 para solicitações normais e 1,25 para excepcionais, para apoios metálicos.

A EN50341 também não refere um método específico e é coincidente com a inclinação máxima permitida, assim como com os coeficientes de derrubamento, que designa de cargas não acidentais e acidentais.

Os maciços podem ser constituídos por betão ciclópico, obtido por junção de pedras de dimensões compatíveis com o espaço a preencher a um betão do tipo C12/15, por betão normal ou betão moldado, do tipo C25/30 ou C30/37 (EDP, 2015).

As fundações para apoios metálicos são compostas por dois ou quatro maciços independentes, onde as cargas predominantes são verticais de compressão ou arrancamento, estando, no entanto, sujeitos às condições atrás referidas (EN-50341, 2012).

## **2.4.5 Balizagem**

### **2.4.5.1 Balizagem Diurna**

A balizagem visa garantir a segurança de voo, acautelando as separações verticais mínimas entre a trajetória de voo e as linhas elétricas aéreas.



De acordo com as recomendações da Circular de Informação Aeronáutica - CIA 10/03 de 06 de maio, do Instituto Nacional de Aviação Civil, os principais constrangimentos que exigem a sinalização diurna são:

- Proximidade de aeroportos, aeródromos e heliportos;
- Cruzamento e paralelismo de linhas com comprimento superior a 900 m, com autoestradas (AE), itinerários principais (IP) ou itinerários complementares (IC);
- Localizadas nas zonas non aedificandi das AE, IP ou IC;
- Vãos com comprimento superior a 500 m;
- Travessia de albufeiras ou cursos de água com mais de 80 m de largura;
- Travessia de vales ou cursos de água, que exceda a altura de 60 m de altura;
- Localização no interior de áreas licenciadas utilização de aeronaves ultraleves.

Sempre que as linhas elétricas aéreas possam constituir perigo para a navegação aérea, os apoios e condutores devem ser convenientemente assinalados (ANAC, 2003).

A sinalização diurna dos apoios é efetuada com a pintura de faixas alternadas de cor branca e vermelha/laranja, com a altura de 1/7 da altura do apoio, desde o topo da cabeça até 6 m abaixo do ponto de fixação inferior (ANAC, 2003).

A balizagem dos condutores deverá ser efetuada através bolas de sinalização ou simplesmente balizas. Estas deverão ser de cor branca, vermelha ou laranja, devendo ser aplicada a cor que crie maior destaque com o meio envolvente, preferencialmente, a vermelha, quando forem necessárias quatro ou menos ou, duas cores alternadas, quando forem necessárias cinco ou mais balizas (EDP, 2006).

O espaçamento entre balizas consecutivas não deve exceder (ANAC, 2003):

- 12 m quando se localize sobre canais de aproximação ou descolagem;
- 30 m quando o diâmetro da baliza for de 600 mm;
- 35 m quando o diâmetro da baliza for de 800 mm;
- 40 m quando o diâmetro da baliza for de 1300 mm.

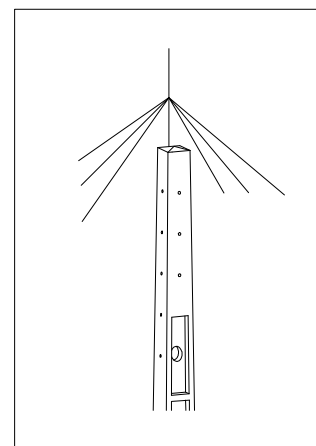
A colocação das balizas deve ser feita do condutor superior, podendo nas linhas de MT com geometria em galhardete ser feita nos dois condutores superiores (ANAC, 2003).

A sinalização luminosa está prevista, essencialmente, para a identificação das linhas localizadas na proximidade de aeroportos, aeródromos, heliportos e nas zonas non aedificandi das AE, IP ou IC e deve ser colocada do topo dos apoios, estar acesa entre o pôr e o nascer do sol, ser de cor vermelha e de baixa intensidade, mas seja visível a uma distância mínima de 1000 m (ANAC, 2003).

#### *2.4.5.2 Proteção da avifauna*

A rede elétrica de alta tensão que garante o fornecimento de energia em Portugal é causadora de mortalidade de algumas espécies de aves, por eletrocussão ou colisão.

A eletrocussão ocorre quando a ave estabelece o contacto entre dois potenciais diferentes, fase-terra, normalmente decorrente do poiso de aves de grande porte, e fase-fase, predominantemente em aves de rapina de voo rápido e preciso, que podem ser eletrocutadas ao passar a meio vão, entre dois condutores de planos diferentes. A colisão resulta do embate das aves que, pelas suas características morfológicas, não veem atempadamente os condutores



**Figura 2.3 – Dispositivo anticolisão**

ou cabos de guarda das linhas elétricas aéreas (SPEA, 2005).

A solução para dissuadir a nidificação e o poiso de ave no topo do poste, minimizando o risco de eletrocussão, passa por colocar um dispositivo dissuasor de nidificação (EDP, 2013b), como representado na Figura 2.3.

Em complemento, nas zonas mais sensíveis ou de maior valor ornitológico, são utilizadas coberturas nas pinças e nos condutores, com o intuito de evitar a eletrocussão das aves que ao pousar, possam atingir com as asas pontos em tensão (EDP, 2013b).

Para proteção da avifauna contra a colisão, foram implementadas algumas soluções para sinalizar os condutores, colocando ao longos dos vãos, equipamentos que, pela sua forma, os tornem mais visíveis. As espirais simples e duplas, representadas na Figura 2.4, são as que têm sido mais utilizadas nos últimos anos. O afastamento entre dispositivos é, em regra, entre 10 m e 30 m (EDP, 2013b).

Nas áreas de jurisdição do Instituto da Conservação da Natureza e das Florestas (ICNF), é este organismo que, em função da das espécies que pretende proteger, define todas as medidas mitigadoras que devem ser adotadas no projeto e construção da linha.

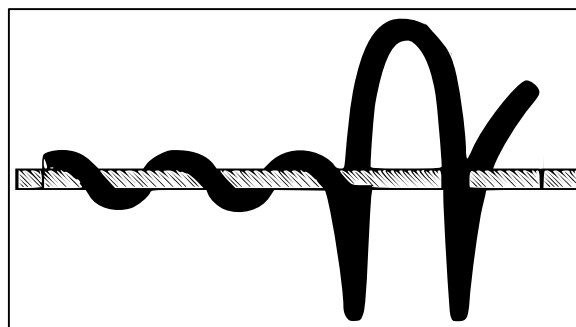


Figura 2.4 - Espiral de sinalização simples (EDP, 2013b)

## *2.5 Estudo do Traçado da Linha*

O projeto de uma linha elétrica carece de um estudo prévio onde se define, numa primeira fase, uma área de estudo de acordo com os pontos de ligação da rede e as principais características ou condicionantes de natureza física, ecológica e socioeconómica da região. A área definida deve apresentar dimensões suficientes por forma a permitir o estudo de várias hipóteses de traçados, devendo estes ser o mais retilíneos possível, desenvolver-se em zonas acessíveis e evitar ventos dominantes (EDP, 2015).

Após a definição da área de estudo, são necessárias consultas formais com as entidades dos poderes constituídos a nível local e regional de modo a recolher informações relevantes para a definição do traçado a escolher. A informação a recolher deve incluir os seguintes temas (EDP, 2015):

- Servidões Rodoviárias, Aeronáuticas e Radioelétricas;
- Imóveis de interesse público;
- Património Arqueológico;
- Redes de águas, gás, esgotos e telecomunicações;
- Áreas Urbanas;
- Áreas Verdes e de Equipamento Desportivo;
- Áreas Reservadas a Cemitérios;
- Servidões de Lixeiras;
- Aterros Sanitários;
- Áreas de Proteção a Recursos Naturais;
- RAN (Reserva Agrícola Nacional);
- Áreas Agrícolas Complementares;
- Áreas de Vinhas;
- Áreas sujeitas a regime florestal;
- REN (Reserva Ecológica Nacional);
- Espécies Arborícolas e Florestais Protegidas;
- Outras Áreas Florestais e de Silvo-Pastorícia;

- Recursos Hídricos;
- Explorações Mineiras.

Após as consultas e identificados todos os elementos restritivos, é selecionado o traçado que corresponda à otimização das condicionantes técnicas, económicas e ambientais (EDP, 2015).



## 3 - Cálculos

### 3.1 Introdução

Uma linha aérea deve ser projetada e construída tendo em consideração a durabilidade e robustez ao longo da vida útil, a manutenibilidade e a segurança.

Os cenários de estudo no decorrer do projeto, representados por diferentes valores de carga, devem ser suficientemente rigorosos e variados por forma a abranger todas as situações previsíveis a que a linha em estudo esteja exposta ao longo do seu período de funcionamento, garantido que esta cumpre os objetivos estabelecidos de forma confiável e económica (*EN-50341*, 2012).

No presente capítulo, são apresentados os cálculos do dimensionamento dos elementos constituintes da linha, para que esta cumpra os requisitos exigidos.

### 3.2 Cálculo Elétrico

Embora o cálculo elétrico das linhas elétricas aéreas de MT não seja frequentemente objeto de análise do projetista, devido às características elétricas da rede, normalização do material e definição dos parâmetros de projeto, fornecidos pelo departamento de planeamento de rede do próprio Operador da

Rede Nacional de Distribuição, estes não podem deixar de ser considerados neste estudo.

### ***3.2.1 Tensão Nominal***

A capacidade de transporte de uma linha aumenta com o quadrado da tensão. O aumento da tensão reduz não só as perdas de energia como os esforços mecânicos e elétricos de toda a estrutura da linha. Por outro lado, o aumento da tensão cria alguns constrangimentos que, na rede de distribuição, o mais significativo está associado à dificuldade no isolamento nas zonas costeiras, com maior influência salina (EDP, 2008a). Assim, a rede distribuição em Portugal funciona maioritariamente a 30 kV, havendo, no entanto, uma parte significativa a 15 kV, predominantemente no litoral e por razões históricas, anteriores à nacionalização da rede elétrica, alguns locais a 10 kV (*Portaria n.º 596/2010*, 2010).

Atualmente, a rede de serviço pública em qualquer nível de tensão tem perfeitamente definidos os seus valores nominais. Os projetos das linhas que são elaborados pelo ORD, ou por administração direta de particulares, decorrem da requalificação da rede existente ou do crescimento natural que decorre dos pedidos de ligação à rede, onde a determinação da tensão é condicionada pelas características elétricas da rede envolvente (EDP, 2015).

### ***3.2.2 Corrente de Serviço***

A determinação da corrente de serviço de uma linha integrada na rede de distribuição, como sendo aquela que se destina a satisfazer a potência requerida por um cliente, é um mero exercício académico. As secções dos condutores das linhas estão normalizadas, tendo em consideração vários critérios do distribuidor, sem qualquer relação com aquele caso concreto (queda de tensão, corrente de serviço, corrente de curto-circuito, entre outros).



Esta aparente contradição é justificada com o facto de a rede ter um crescimento radial e a linha que hoje está a ser construída para um cliente, amanhã pode ter várias derivações e, no limite, poder o distribuidor reconfigurar a rede e esta passar a ser um elemento de um eixo principal de uma saída de subestação.

Porém, a determinação da corrente de serviço é necessária para o cálculo da secção transversal mínima, das perdas de energia e da queda de tensão, analisadas em detalhe subsequentemente.

A corrente de serviço de uma linha aérea é obtida através da expressão:

$$I_s = \frac{P}{\sqrt{3} * U_c * \cos\varphi} \quad [A] \quad (3.1)$$

Onde:

$P$  - Potência nominal da linha [kW];

$U_c$  - Tensão composta [kV];

$\cos\varphi$  - Fator de potência.

### ***3.2.3 Intensidade da corrente de curto-circuito máxima admissível***

No cálculo das intensidades da corrente de curto-circuito em linhas elétricas aéreas de MT, linhas dotadas de condutores de secções transversais consideradas pouco elevadas, podem ser tomadas algumas generalizações que nos permitem utilizar o valor eficaz da corrente de curto-circuito em vez do valor eficaz médio da corrente total de curto-circuito na expressão do mesmo (DGE, 1986):

- Os efeitos ocorrem em pontos da rede afastados das centrais geradoras;
- A constante de tempo do circuito é suficientemente curta para se possam desprezar as variações de temperatura, do calor específico e da massa específica do material do condutor.

A intensidade da corrente de curto-circuito máxima admissível é, então, obtida através da seguinte expressão (DGE, 1986):

$$I_{MAX} = \frac{1}{K_1 \cdot K_2} \times \frac{S}{\sqrt{t}} \quad [\text{kA}] \quad (3.2)$$

Onde:

$t$  - Duração do curto-circuito [s];

$S$  - Secção dos condutores [mm<sup>2</sup>];

$K_1$  - Constante do material condutor [mm<sup>2</sup> · kA<sup>-1</sup> · s<sup>1/2</sup>];

$K_2$  - Coeficiente de temperatura.

Os valores das constantes  $K_1$  e  $K_2$  para cada tipo de material condutor são apresentados na Tabela 3.1.

**Tabela 3.1 - Constantes  $K_1$  e  $K_2$  de cada material (DGE, 1986)**

Material Condutor	$K_1$ [mm <sup>2</sup> / kA·s <sup>1/2</sup> ]	$K_2$	Temperatura máxima admissível [°C]
Alumínio-aço	6,902	1,732	160
Ligas de alumínio	6,981	1,809	160

### 3.2.4 Parâmetros Físicos

#### 3.2.4.1 Resistência

A resistência elétrica de um condutor é determinada pela oposição que esse condutor apresenta à passagem da corrente elétrica, por unidade de comprimento, e é dada por (Ventim Neves, 2019):

$$R = \frac{\rho}{S} = \frac{1}{\sigma \times S} \quad [\Omega \cdot \text{km}^{-1}] \quad (3.3)$$

Onde:

$\rho$  - Resistividade elétrica do condutor [ $\Omega \cdot \text{mm}^2 \cdot \text{km}^{-1}$ ];

$\sigma$  - Condutibilidade elétrica do material condutor [ $\text{S} \cdot \text{km} \cdot \text{mm}^{-2}$ ];

$S$  - Secção nominal do condutor [ $\text{mm}^2$ ].

Como o valor da resistência varia e função da temperatura, é necessário adequar o valor de referência a 20 °C, à temperatura de exploração, 40 °C, recorrendo à expressão:

$$R_{\theta} = R_{20} \times [1 + \alpha_{20} \cdot (\theta - 20)] \quad [\Omega] \quad (3.4)$$

Onde:

$\theta$  - temperatura de exploração [°C];

$R_{20}$  - resistência do condutor a 20 °C [ $\Omega$ ];

$R_{\theta}$  - resistência do condutor à temperatura  $\theta$  [ $\Omega$ ];

$\alpha_{20}$  - coeficiente de temperatura do material a 20 °C [°C<sup>-1</sup>].

#### 3.2.4.2 Coeficiente de Autoindução

O coeficiente de autoindução relativo a um feixe de N condutores, por unidade de comprimento, é obtido através da seguinte expressão (Ventim Neves, 2019):

$$L = \left[ \frac{1}{2 \cdot N} + 2 \times \ln \left( \frac{D}{R'} \right) \right] \times 10^{-4} \quad [\text{H} \cdot \text{km}^{-1}] \quad (3.5)$$

Onde:

$N$  - Número de condutores do feixe;

$D$  - Média geométrica das distâncias entre os condutores [mm];

$R'$  - Raio equivalente do feixe [mm].

O raio equivalente de um feixe é obtido por (Ventim Neves, 2019):

$$R' = \sqrt[N]{N \times r_c \times R_f^{N-1}} \quad [mm] \quad (3.6)$$

Onde:

$N$  - Número de condutores do feixe;

$r_c$  - Raio dos condutores [mm];

$R_f$  - Raio da circunferência formada pelo feixe [mm].

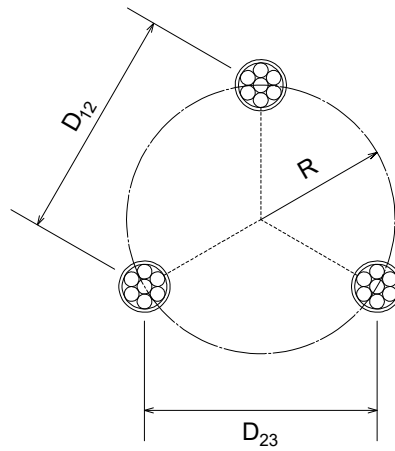


Figura 3.1 - Feixe de três condutores (adaptado de (Labegolini et al., 1992))

A título de exemplo, a média geométrica de um feixe de três condutores (Figura 3.1) é dada por:

$$D = \sqrt[3]{D_{12} \times D_{13} \times D_{23}} \quad [mm] \quad (3.7)$$

### 3.2.4.3 Capacidade

A capacidade de um condutor, por unidade de comprimento, é obtida através da seguinte expressão: (Ventim Neves, 2019)

$$C = \frac{2 \cdot \pi \cdot \epsilon_0}{\ln\left(\frac{D}{R'}\right)} \times 10^3 \quad [F \cdot km^{-1}] \quad (3.8)$$

Onde:

$\epsilon_0$  - Permissividade do vácuo [ $C^2 \cdot N^{-1} \cdot m^{-2}$ ];

$D$  - Média geométrica das distâncias entre os condutores [mm];

$R'$  - Raio equivalente para do feixe [mm].

#### ***3.2.4.4 Condutância transversal***

A condutância transversal,  $G$ , provém de correntes de fuga nos isoladores ou de perdas de elétrons pelo ar, o que não aconteceria em linhas perfeitamente isoladas onde a condutância seria, portanto, nula.

Em condições normais de operação, a condutância das linhas é desprezada devido ao seu reduzido valor (Paiva, 2015).

### ***3.2.5 Parâmetros Elétricos***

#### ***3.2.5.1 Reactância Longitudinal***

A reactância longitudinal por unidade de comprimento é obtida através da multiplicação do coeficiente de autoindução  $L$ , por unidade de comprimento, pelo valor da frequência angular,  $\omega$  (Paiva, 2015):

$$X = \omega \cdot L \quad [\Omega \cdot km^{-1}] \quad (3.9)$$

Desenvolvendo a expressão anterior, a reactância indutiva por unidade de comprimento é, então, dada por:

$$X = 2 \cdot \pi \cdot f \times \left[ \frac{\mu}{2 \cdot N} + 2 \times \ln \left( \frac{D}{R'} \right) \right] \times 10^{-4} \quad [\Omega \cdot km^{-1}] \quad (3.10)$$

Onde  $f$  representa a frequência de operação da rede em Hz.

### 3.2.5.2 Impedância Longitudinal

O valor da impedância longitudinal da linha por unidade de comprimento é obtido através da seguinte expressão (Paiva, 2015):

$$Z = R + jX \quad [\Omega \cdot \text{km}^{-1}] \quad (3.11)$$

Onde:

$R$  - Resistência por unidade de comprimento  $[\Omega \cdot \text{km}^{-1}]$ ;

$X$  - Reactância por unidade de comprimento  $[\Omega \cdot \text{km}^{-1}]$ .

### 3.2.5.3 Susceptância

A susceptância por unidade de comprimento é obtida através da multiplicação do coeficiente de capacidade  $C$ , por unidade de comprimento, pelo valor da frequência angular,  $\omega$  (Paiva, 2015):

$$B = \omega \cdot C \quad [\text{S} \cdot \text{km}^{-1}] \quad (3.12)$$

Expandindo a equação anterior, a susceptância pode ser descrita por:

$$B = \frac{4 \cdot \pi^2 \cdot f \cdot \varepsilon_0}{\ln\left(\frac{D}{R'}\right)} \times 10^3 \quad [\text{S} \cdot \text{km}^{-1}] \quad (3.13)$$

### 3.2.5.4 Admitância Transversal

O valor da admitância transversal de uma linha representa o inverso da impedância da mesma e é obtida à custa da condutância,  $G$ , e da susceptância,  $B$ , obtidas anteriormente (Paiva, 2015):

$$Y = G + jB \quad [\text{S} \cdot \text{km}^{-1}] \quad (3.14)$$

Onde:

$G$  - Condutância transversal  $[\text{G} \cdot \text{km}^{-1}]$ ;

$X$  - Susceptância  $[\text{S} \cdot \text{km}^{-1}]$ .

### 3.2.6 Queda de Tensão

As linhas elétricas aéreas de baixa ou de média tensão, inferiores a 30 kV, são consideradas curtas e com tensões de funcionamento moderadas. Para efetuar o cálculo das quedas de tensão numa linha elétrica aérea de MT podem-se admitir algumas simplificações (Madureira, 2009):

- A admitância da linha nula;
- Admite-se que a queda de tensão total é proveniente da soma da queda de tensão provocada na resistência da linha elétrica pela componente ativa da corrente com a queda de tensão provocada na reactância indutiva da linha pela componente indutiva da corrente;
- A tensão no início da linha é igual à tensão nominal.

Com base nas simplificações anteriores, a queda de tensão total numa linha aérea desde o ponto inicial ao seu ponto mais distante é expressa por:

$$\Delta U = \sqrt{3} \cdot I_S \cdot (R \cdot \cos\varphi + X \cdot \sin\varphi) \quad [\text{V}] \quad (3.15)$$

Onde:

$I_S$  - Corrente de serviço da linha [A];

$R$  - Resistência dos condutores [ $\Omega$ ];

$X$  - Reactância dos condutores [ $\Omega$ ];

$\cos \varphi$  - Fator de potência.

### 3.2.7 Perdas de Energia

As principais perdas de energia numa linha aérea são perdas por efeito de Joule, devidas ao aquecimento dos condutores. Nas linhas elétricas aéreas trifásicas, este valor pode ser obtido através da expressão (Checa, 1988):

$$P_P = 3 \cdot R \cdot I_S^2 \quad [\text{W}] \quad (3.16)$$

Onde:

$R$  - Resistência dos condutores [ $\Omega$ ];

$I_s$  - Corrente de serviço da linha [A].

Relacionando o valor anterior com o valor da potência nominal transmitida,  $P$ , obtemos o valor das perdas de energia em termos percentuais, vindo então:

$$P(\%) = \frac{P_p}{P} \times 100 \quad (3.17)$$

### 3.3 *Cálculo Mecânico*

O cálculo mecânico tem como principal função garantir que a linha suporta os agentes externos a que possa estar sujeita. Para tal é necessário definir a tensão máxima de tração dos condutores, de modo a manter a distância mínima entre eles e com o solo, dimensionar os apoios, as travessas e os isoladores, por forma a garantir a estabilidade da linha e a fiabilidade de exploração nas condições mais adversas.

#### 3.3.1 *Tensão Máxima de Tração*

A característica mecânica da linha que condiciona todos os cálculos é a definição do valor da tensão máxima de tração, ou simplesmente tensão mecânica máxima. Este parâmetro define o valor máximo de tensão mecânica a que os condutores serão sujeitos nas condições atmosféricas mais desfavoráveis (DGE, 1986).

Nos termos do art. 24.º do RSLEAT e da cláusula 9.2.4/PT.1 da EN50341-2-17, o valor da tensão máxima dos condutores não deve ultrapassar o valor do quociente das suas tensões de rutura por 2,5, ou seja, a tensão máxima regulamentar não pode exceder 40% da tensão de rotura.



Devido a este condicionamento, a Tabela 3.2 apresenta os valores de tensão máximos aconselhados pela DGE, para cada tipo de condutor.

**Tabela 3.2 - Trações máximas de Serviço (DGE, 1986)**

<b>Material Condutor</b>	<b>Secção Nominal [mm<sup>2</sup>]</b>	<b>Tração Máxima [daN/mm<sup>2</sup>]</b>
Alumínio-aço ACSR	50	7-8-9-10
	90	7-8-9
	160	7-8-9
Ligas de alumínio AAAC-ASTER	55	8-9-10
	117	8-9-10
	148	7-8-9

Para cada condutor existe um intervalo de valores aconselhado e que, de acordo com as prescrições do ORD, determina ao projetista a tensão máxima adequada a cada situação. Este valor deve ser definido tendo em consideração que, quanto mais elevado este for, menores serão as flechas resultantes e maiores os esforços mecânicos que atuam sobre os apoios, travessas e isoladores. Reciprocamente, a utilização de tensões máximas de valores inferiores apresenta flechas superiores e esforços mecânicos mais reduzidos (Cardoso, 2016).

### ***3.3.2 Ação dos Elementos Externos***

Ao longo do ano e em função das alterações climáticas que, periodicamente, se repetem, e caracterizam as quatro estações, os cálculos da linha aérea têm de identificar e considerar as situações mais desfavoráveis. Os esforços permanentes são aqueles que provêm da tensão dos condutores e do peso próprio de todos os elementos da linha. Os esforços variáveis são aplicados à linha por ação de elementos externos, como a temperatura, o vento e eventualmente o gelo (EN-50341, 2012).

### *3.3.2.1 Ação da Temperatura*

Os condutores estão sujeitos a elevadas variações de temperatura, dependendo, em cada instante, do equilíbrio entre o calor absorvido e cedido ao meio ambiente.

O calor absorvido tem origem, principalmente, no efeito de Joule e no aquecimento pela incidência da radiação solar, que pode ser cedido ao meio ambiente através de irradiação ou convecção. Estas variações de temperatura provocam contrações e dilatações no comprimento condutores e, conseqüentemente, afetam as flechas máximas dos condutores e o valor da tração mecânica dos mesmos. (Labegalini et al., 1992)

De acordo com o art. 22.º do RSELAT e com a cláusula 4.2.5/PT.1 da EN50341-2-17, a flecha máxima dos condutores deve ser determinada para a temperatura de +50 °C e a flecha mínima para as temperaturas de -5 °C para as instalações fora das zonas de gelo e de -10 °C em zonas de gelo.

### *3.3.2.2 Ação do Gelo*

A formação de manga de gelo que envolve os condutores provoca o aumento dos esforços a que os elementos da linha estão sujeitos, em consequência do aumento do peso acrescido do gelo e do aumento do diâmetro aparente dos condutores.

#### **3.3.2.2.1 RSLEAT**

De acordo com art. 16.º, a manga de gelo a considerar no cálculo dos condutores e cabos de guarda das linhas elétricas aéreas, deverá ter uma espessura uniforme de, pelo menos, 10 mm e com densidade de 0.9 kg/dm<sup>3</sup>. Nos comentários da DGE ao mesmo artigo, é referido que a altura a partir da qual deve se considerar a existência de gelo são 700 m, sem prejuízo de se considerarem mangas de espessura superior, onde, comprovadamente, possam ocorrer.

#### 3.3.2.2.2 EN50341

Na cláusula 4.2.3/PT.1 da EN50341-2-17 são apresentados os distritos onde, para altitudes superiores a 600 m, devem ser considerados cargas de gelo. A carga de gelo característica para o território português é dada por:

$$I_K = \frac{11 \cdot (10 + d)}{40} \quad [\text{N/m}] \quad (3.18)$$

Onde:

$d$  - diâmetro do condutor [mm]

A carga mínima de gelo pode ser modelizada como uma manga uniforme de espessura 10 mm e com densidade de 900 kg/m<sup>3</sup> (EN-50341, 2012).

#### 3.3.2.3 Ação do Vento

O vento, ao embater nos elementos de uma linha, encontra uma resistência que se manifesta sobre a forma de pressão. Proporcional ao quadrado da sua velocidade, resulta numa força normal à superfície batida, num plano horizontal, considerando-se que a força resultante é distribuída uniformemente ao longo dos elementos (Labegalini et al., 1992).

##### 3.3.2.3.1 RSLEAT

De acordo com o art. 10.º do RSLEAT, a força proveniente da ação do vento é determinada através da expressão:

$$F_V = \alpha \cdot c \cdot q \cdot A \quad [\text{N}] \quad (3.19)$$

Onde:

$\alpha$  - coeficiente de redução

$c$  - coeficiente de forma

$q$  - pressão dinâmica do vento [Pa]

$A$  - área da superfície batida pelo vento [m<sup>2</sup>]

O coeficiente de redução traduz, em cada caso, a variação da velocidade do vento ao longo do comprimento de cada vão. Os valores a adotar são apresentados na Tabela 3.3.

**Tabela 3.3 - Coeficiente de Redução (*RSLEAT*, 1992)**

	Coeficiente de Redução
Condutores e cabos de guarda	0,6
Apoios, travessas e isoladores	1

O coeficiente de forma traduz a influência aerodinâmica da geometria de cada elemento. Os valores a utilizar estão expressos na Tabela 3.4.

**Tabela 3.4 Coeficiente de Forma (*RSLEAT*, 1992)**

	Diâmetro [mm]	Coeficiente de forma
Condutores nus e cabos de guarda	Até 12,5	1,2
	Acima de 12,5 e até 15,8	1,1
	Acima de 15,8	1,0
Cabos isolados em feixe	-	1,3
Cabos auto suportados	-	1,8
Isoladores	-	1,0

A pressão dinâmica está relacionada com a velocidade do vento, através da seguinte expressão:

$$q = \frac{v^2}{16} \cdot 9,81 \quad [\text{Pa}] \quad (3.20)$$

Onde:

$v$  - velocidade do vento [m/s]

O RSLEAT define os valores da pressão dinâmica do vento a adotar, em função da altura acima do solo. Esses valores são apresentados na Tabela 3.5, em conjunto com a correspondente velocidade incidência.

Tabela 3.5 Pressão Dinâmica do Vento e respetiva Velocidade (*RSLEAT*, 1992)

Altura acima do solo [m]	Pressão dinâmica do vento, q [Pa]		Velocidade do Vento [m/s]	
	Vento Máximo Habitual	Vento Reduzido	Vento Máximo Habitual	Vento Reduzido
Até 30	750	300	34,98	22,12
Entre 30 e 50	900	360	38,31	24,23
Acima de 50	1050	420	41,38	26,17

Em linhas excecionalmente expostas, como a zona costeira numa faixa de 5 km ou situadas a alturas superiores a 600 m, o comentário ao art. 13.º recomenda a adoção de um acréscimo de 20% ao valor da pressão dinâmica do vento.

### 3.3.2.3.2 EN50341

Por causa da diferente influência da ação do vento sobre as linhas em diferentes locais de implantação, o território nacional é dividido em duas zonas distintas (*EN-50341*, 2012):

- **Zona A** - Totalidade do território, com a exceção das regiões pertencentes à zona B;
- **Zona B** - Regiões Autónomas dos Açores e da Madeira e regiões continentais situadas no interior de uma faixa de 5 km de largura ao longo da costa ou em altitudes acima de 600 m.

De acordo com a cláusula 4.3.5 da EN50341-1, a força do vento que incide perpendicularmente sobre cada elemento da linha, a uma altura  $h$  acima do solo, é obtido através da seguinte expressão (*EN-50341*, 2012):

$$Q_w = q_h(h) \cdot G_q \cdot G_c \cdot C_c \cdot A \quad [\text{daN}] \quad (3.21)$$

Onde:

$q_h(h)$  - Pressão dinâmica do vento a uma altura  $h$  [daN/m<sup>2</sup>]

$G_q$  - Fator de rajada com valor 1

$G_c$  - Fator de ressonância estrutural

$C_c$  - Fator de forma

$A$  - Área da superfície batida pelo vento [m<sup>2</sup>]

A fim de calcular o valor da pressão dinâmica do vento, a cláusula 4.2.2.1 da EN50341-2-17 introduz as seguintes velocidades do vento:

- $V_{média}$  - Velocidade média de vento de 10 min a 10 m acima do solo em terreno aberto
- $V_g$  - Velocidade de rajada do vento, obtida por

$$V_g = k_g \cdot V_{média}, \quad [\text{m/s}] \quad (3.22)$$

onde  $k_g$  representada o fator de rajada e tem valor 1,5

- $V_R$  - Velocidade de referência do vento correspondente a um período de retorno de 50 anos
- $V_h$  - Velocidade do vento a uma altura  $h$  acima do solo, dada por:

- $V_h = V_R \cdot \left(\frac{20}{10}\right)^{0,2} = 1,585 \cdot V_R, \text{ se } h \leq 20 \text{ m} \quad [\text{m/s}] \quad (3.23)$

- $V_h = V_R \cdot \left(\frac{h}{10}\right)^{0,2}, \text{ se } h > 20 \text{ m} \quad [\text{m/s}] \quad (3.24)$

Na Tabela 3.6 são apresentados os diferentes valores de cada velocidade a considerar nas zonas definidas.

Tabela 3.6 - Velocidades do vento definidas para as diferentes zonas (EN-50341, 2012)

	Zona A [m/s]	Zona B [m/s]
$V_{média}$	20	22
$V_g$	30	33
$V_R$	30	33

O valor da pressão dinâmica do vento vem finalmente dado por (EN-50341, 2012):

$$q_h = 0,5 \cdot \rho_{AR} \cdot V_h^2 \quad [\text{Pa}] \quad (3.25)$$

Onde:

$\rho_{AR}$  - densidade do ar, igual a 1,225 kg/m<sup>3</sup> a 15 °C e pressão atmosférica de 1013 hPa.

Na Tabela 3.7 são apresentados valores calculados da pressão dinâmica do vento em função da altura a que o elemento em estudo se encontra e da zona de implantação da linha.

Tabela 3.7 - Pressão dinâmica do vento em função da altura  $h$  e da zona de vento (EN-50341, 2012)

Altura [m]		0	10	20	30	40	50	60	70	80	90
$q_h$ [Pa]	Zona A	727	727	727	855	960	1049	1129	1201	1266	1328
	Zona B	880	880	880	1035	1161	1270	1366	1453	1532	1606

Em contextos caracterizados por vento reduzido, nos termos da cláusula 4.2.7/PT.1 da EN50341-2-17, a pressão dinâmica do vento apresenta um valor de 40% relativo ao valor obtido através de (3.25).

No cálculo da força do vento sobre os condutores, o fator de forma depende do diâmetro e é dado pelos valores apresentados na Tabela 3.8.

Tabela 3.8 - Fator de forma em função do diâmetro do condutor (*EN-50341*, 2012)

$d$ [mm]	$C_e$
$d \leq 12,5$	1,2
$12,5 < d \leq 15,8$	1,1
$15,8 < d$	1,0

### 3.3.3 Estados Atmosféricos

Em consequência da variação da influência dos fatores atmosféricos sobre os constituintes de uma linha aérea, são definidos três estados atmosféricos, vulgarmente designados pelas estações do ano (com exclusão do outono), representativos das condições mais desfavoráveis que possam ocorrer nesse período (*RSLEAT*, 1992; *EN-50341*, 2012).

Na Tabela 3.9 estão caracterizados os estados atmosféricos.

Tabela 3.9 - Estados Atmosféricos

Estado	Vento	Temperatura [°C]	
		Sem Gelo	Com Gelo
Inverno	Reduzido	-5	-10
Primavera	Máximo Habitual	15	-
Verão	-	50	-



### 3.3.4 Coeficientes de Sobrecarga

O coeficiente de sobrecarga pretende acrescentar ao peso específico do condutor, as forças resultantes da ação do vento e do gelo, que se traduz na relação entre o peso aparente e peso próprio do condutor: (Checa, 1988)

$$m = \frac{P_A}{\omega_C} \quad (3.26)$$

Onde:

$P_A$  - Peso aparente do condutor [daN/m];

$\omega_C$  - Peso específico do condutor [daN/m].

Considerando a ação do vento sobre o condutor e a manga de gelo,  $F_V$ , o peso próprio do condutor,  $P_C$  e do gelo,  $P_G$ , tomando como referência o corte da Figura 3.2, a resultante da soma vetorial, é o peso aparente do condutor,  $P_A$ .

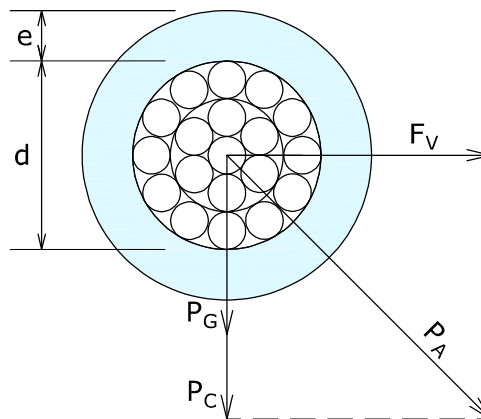


Figura 3.2 - Forças sobre um condutor

Onde:

$e$  - espessura da manga de gelo [m];

$d$  - diâmetro do condutor [m];

$F_V$  - Força do vento sobre o condutor e manga de gelo [daN/m];

$P_C$  - Peso do condutor [daN/m];

$P_G$  - Peso da manga de gelo [daN/m];

$F_R$  - Força resultante (Peso aparente) [daN/m].

O peso aparente do condutor é dado por:

$$P_A = \sqrt{(\omega_C + P_G)^2 + F_V^2} \quad [\text{daN/m}] \quad (3.27)$$

Onde:

$$P_G = \rho_g \times \frac{\pi}{4} \times [(d + 2e)^2 - d^2] \quad [\text{daN/m}] \quad (3.28)$$

Em que:

$\rho_g$  - Massa volúmica do gelo (900 kg/m<sup>3</sup>).

Combinando as Equações (3.27) e (3.28), obtém-se a expressão detalhada para o cálculo dos coeficientes de sobrecarga, expressa por:

$$m = \frac{\sqrt{\left\{ \omega_C + \rho_g \times \frac{\pi}{4} \times [(d + 2e)^2 - d^2] \right\}^2 + F_V^2}}{\omega_C} \quad (3.29)$$

### 3.3.5 Vão Equivalente

O cantão de uma linha aérea é o troço compreendido entre dois apoios, nos quais os condutores são fixados por amarração. Este pode ser constituído por vários vãos intermédios suportados por apoios de suspensão.

Enquanto os apoios de amarração representam uma descontinuidade mecânica dos condutores em relação ao vão adjacente, em apoios de suspensão

a tração dos cabos é propagada de forma equilibrada entre vãos contíguos. Assim, cada cantão comporta-se como um vão único, com determinado comprimento, designado por vão equivalente, expresso por: (Checa, 1988)

$$L_e = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n L_i^3}{\sum_{i=1}^n L_i}} \quad [\text{m}] \quad (3.30)$$

Onde:

$n$  - número de vãos que compõem o cantão;

$L_i$  - comprimento de cada vão pertencente ao cantão [m].

O vão equivalente é um vão fictício, no qual as variações da tensão mecânica, devido às variações de carga e temperatura, são sensivelmente iguais às dos vãos reais do cantão (RSLEAT, 1992).

A passagem dos condutores é feita por roldanas fixas às rótulas das cadeias de suspensão, para mitigar o atrito do desenrolamento e equilibrar os vãos. A regulação consiste na fixação dos condutores de cada cantão nos dois extremos, após a aplicação da tensão adequada aos condutores. Esta garante que, de acordo com a temperatura ambiente e nas condições mais desfavoráveis, a tensão máxima corresponde àquela que foi definida em projeto, devendo ser realizada apenas no designado vão de ideal de regulação. Este vão deve ter um comprimento semelhante ao comprimento do vão equivalente e ter o menor desnível possível (EDP, 2015).

### ***3.3.6 Equação de Mudança de Estado***

A equação é, por definição, a igualdade entre os dois membros, com o objetivo de, a partir do conhecimento de um dos membros, determinar o valor da incógnita o outro. A equação de mudança de estado é um equilíbrio mecânico que, a partir da tensão aplicada a um condutor, conhecidos os seus parâmetros e o respetivo estado atmosférico, permite determinar a tensão resultante da alteração das características do estado atmosférico (Checa, 1988).

A equação de mudança de estado, a partir do estado mais desfavorável de projeto, permite determinar a tensão mecânica a aplicar aos condutores na fase de regulação. A equação de mudança de estado é definida por (Checa, 1988):

$$\theta_A + \frac{t_{\theta A}}{\alpha_d \cdot E} - \frac{m_A^2 \cdot \omega_C^2 \cdot L^2}{24 \cdot \alpha_d \cdot t_{\theta A}^2} = \theta_B + \frac{t_B}{\alpha_d \cdot E} - \frac{m_B^2 \cdot \omega_C^2 \cdot L^2}{24 \cdot \alpha_d \cdot t_B^2} \quad (3.31)$$

Onde:

$\alpha_d$  - coeficiente de dilatação térmica do cabo [ $^{\circ}\text{C}^{-1}$ ];

$\omega_C$  - Peso específico do condutor [daN/m];

$E$  - Módulo de elasticidade [daN/mm<sup>2</sup>];

$L$  - Comprimento do vão [m];

$\theta_A, \theta_B$  - Temperaturas dos diferentes estados atmosféricos [ $^{\circ}\text{C}$ ];

$m_A, m_B$  - Coeficientes de sobrecargas dos diferentes estados atmosféricos;

$t_{\theta A}, t_{\theta B}$  - Trações aplicadas nos diferentes estados atmosféricos [daN/mm<sup>2</sup>].

### 3.3.7 Vão Crítico

O vão crítico é aquele em que corresponde ao vão em que os condutores ficam sujeitos à tensão máxima de projeto, independentemente do estado atmosférico a que a linha está sujeita. A sua expressão é obtida através da equação de estado (3.31), considerando como incógnita o comprimento do vão e igualando os estados de inverno e primavera, com as tensões máximas, de que resulta (Checa, 1988):

$$L_C = \frac{S \cdot t_{MAX}}{\omega_C} \times \sqrt{\frac{24 \cdot \alpha_d \cdot (\theta_A - \theta_B)}{m_A^2 - m_B^2}} \quad [\text{m}] \quad (3.32)$$

Na equação anterior, os parâmetros relativos ao estado de Primavera estão assinalados com índice "A" enquanto os parâmetros do estado de Inverno estão assinalados através do índice "B".

O vão crítico é determinante para a identificar o estado mais desfavorável.

### 3.3.8 Estado Atmosférico mais Desfavorável

A identificação do estado atmosférico mais desfavorável de um cantão é necessária para determinar qual o estado em os condutores vão estar sujeitos à tração máxima de projeto (Checa, 1988). Posteriormente, recorrendo à equação de mudança de estado, determina-se o estado de verão, portanto, de flecha máxima, e a tabela de regulação dos condutores. A determinação deste estado é obtida pela árvore de decisão cujos critérios são a comparação entre os coeficientes de sobrecarga e entre os vãos equivalente e crítico.

O fluxograma é apresentado na Figura 3.3.

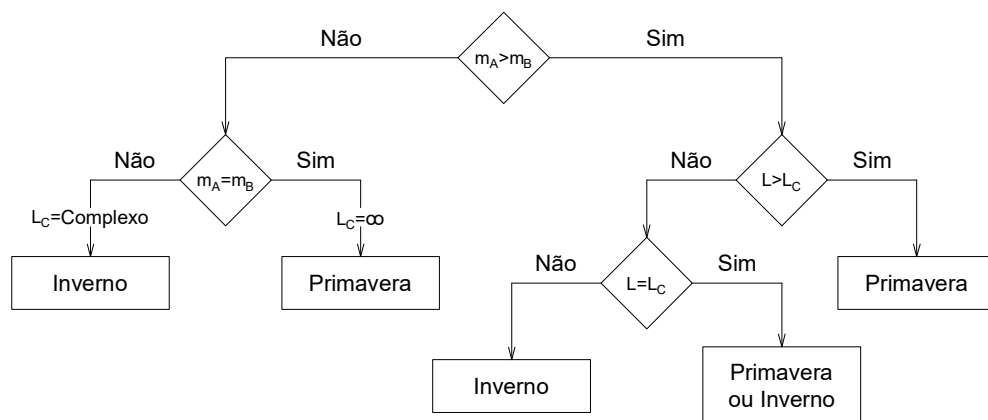


Figura 3.3 - Fluxograma de Decisão do Estado Atmosférico mais Desfavorável (Madureira, 2009)

### 3.3.9 Curvas de um Condutor

A curva de equilíbrio formada por um fio pesado, homogêneo, flexível e inextensível suspenso entre dois pontos fixos tem forma uma catenária, sendo esta a que mais se assemelha à curva de equilíbrio formada pelos condutores elétricos de uma linha, embora estes sejam extensíveis e por vezes heterogêneos (Avril, 1974).

Por questões de simplicidade, por vezes adota-se a forma da parábola que se baseia no desenvolvimento em série de MacLaurin do cosseno hiperbólico, sendo esta uma aproximação que introduz pouco erro nos cálculos das curvas dos condutores. Na Figura 3.4 estão representadas ambas as curvas (Avril, 1974).

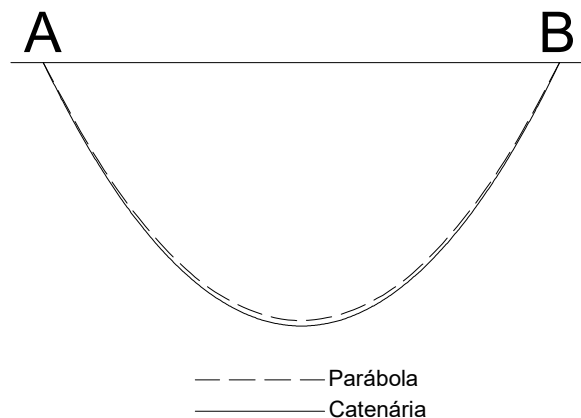


Figura 3.4 - Comparação entre as curvas da Catenária e da Parábola (adaptado de Avril, 1974)

#### 3.3.9.1 Vão em Patamar

O parâmetro de uma curva representa o raio de curvatura no ponto onde a tangente da curva é horizontal e é dado pelo quociente entre a tração horizontal do condutor e o peso linear do mesmo: (RSLEAT, 1992)

$$P = \frac{t \cdot S}{\omega_c} = \frac{T}{\omega_c} \quad [\text{m}] \quad (3.33)$$

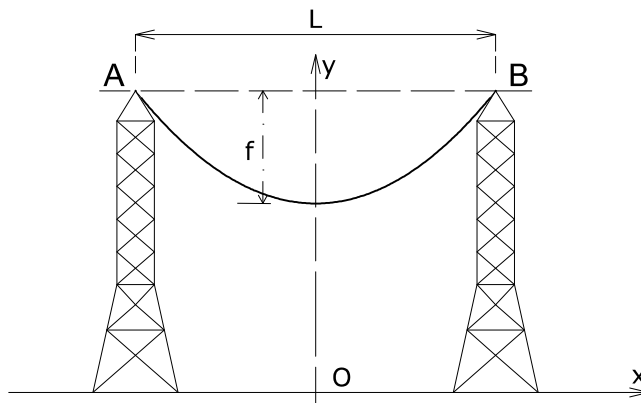
Onde:

$t$  - Tração de montagem do condutor [ $\text{daN/mm}^2$ ];

$S$  - Secção nominal do condutor [ $\text{mm}^2$ ];

$T$  - Componente horizontal da tração de montagem [ $\text{daN}$ ];

$\omega_c$  - peso específico do condutor [ $\text{daN/m}$ ].



**Figura 3.5 - Catenária formada por um condutor em vão nivelado**

A curva formada por um condutor num vão em patamar, cujos pontos de fixação se encontram alinhados à mesma altura, é ilustrada na Figura 3.5 e dada por (RSLEAT, 1992):

$$y(x) = P \cdot \left( \cosh\left(\frac{x}{P}\right) - 1 \right) \quad [\text{m}] \quad (3.34)$$

A flecha máxima de uma curva é definida como a distância vertical entre o plano formado pelos pontos de fixação do condutor e a reta paralela ao mesmo e tangente à curva. Tratando-se de um vão nivelado em que os pontos de fixação do condutor se encontram no mesmo plano horizontal a uma distância de  $L$ , em metros, o ponto de flecha máxima encontra-se exatamente no ponto médio do vão. Então, a equação da flecha de uma catenária num vão em patamar é dada pela diferença entre a altura dos pontos de fixação e o valor do parâmetro da curva, obtida através da expressão (Avril, 1974):

$$f = P \cdot \left( \cosh\left(\frac{L}{2 \cdot P}\right) - 1 \right) \quad [\text{m}] \quad (3.35)$$

Para simplificação do cálculo, recorre-se frequentemente à equação da parábola para definir a curva formada pelos condutores que, em vãos não muito longos, apresenta uma diferença insignificante quando equiparada com a equação da catenária. A equação da parábola é dada por (Checa, 1988):

$$y = \frac{x^2}{2 \cdot P} \quad [\text{m}] \quad (3.36)$$

Portanto, utilizando esta aproximação, a flecha da curva é dada por:

$$f = \frac{L^2}{8 \cdot P} \quad [\text{m}] \quad (3.37)$$

### 3.3.9.2 Vão Desnivelado

Na realidade, são poucas as situações em que os vãos são perfeitamente nivelados. A situação mais frequente é existir uma diferença de alturas entre os pontos de fixação de apoios consecutivos, designados de vãos desnivelados. Nestes casos, a análise da curva formada pelos condutores é feita de forma semelhante e mantém-se caracterizada pela Equação (3.34), onde apenas difere a posição do ponto inferior que deixa de estar centrado na curva. Esta situação está representada na Figura 3.6.

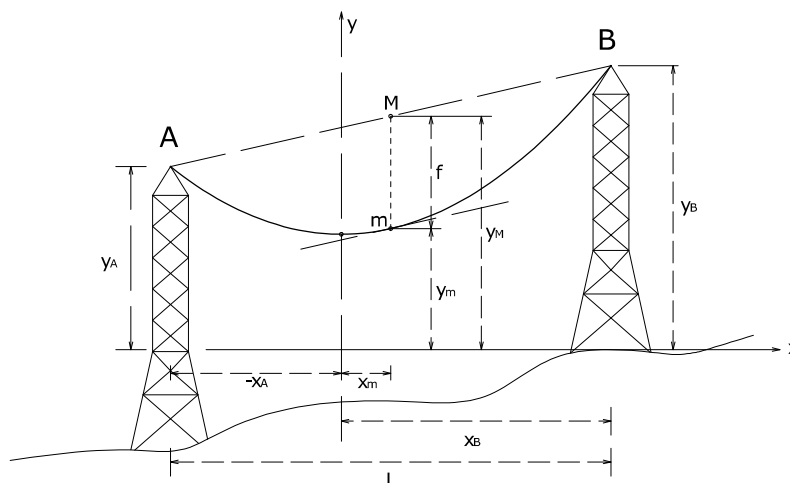


Figura 3.6 - Catenária formada por um condutor em vão desnivelado (adaptado de Checa, 1988)



A distância vertical entre ambos os pontos de fixação, representados na figura anterior pelos pontos "A" e "B", pode ser obtida desenvolvendo a Equação (3.34) entre ambos os pontos e vem dada por (Checa, 1988):

$$d = P \cdot \left[ \cosh\left(\frac{x_B}{P}\right) - \cosh\left(\frac{x_A}{P}\right) \right] \quad [\text{m}] \quad (3.38)$$

Onde:

$x_A$  - distância entre o ponto A e o ponto inferior da curva [m];

$x_B$  - distância entre o ponto B e o ponto inferior da curva [m].

Nestas circunstâncias, o ponto de flecha máxima não se localiza no ponto inferior da curva como se verifica em vãos nivelados. Na curva representada na Figura 3.6, o ponto de flecha máxima encontra-se deslocado do ponto inferior a uma distância de  $x_m$  metros no plano horizontal, dada por:

$$x_m = \frac{x_A - x_B}{2} \quad [\text{m}] \quad (3.39)$$

No plano vertical, a altura a que este ponto se encontra pode ser obtido através da expressão seguinte:

$$y_m = P \cdot \cosh\left(\frac{x_m}{P}\right) \quad [\text{m}] \quad (3.40)$$

Em vãos desnivelados, o valor da flecha máxima é calculado seguindo o mesmo raciocínio empregue nos vãos em patamar, através da expressão (Checa, 1988):

$$f = P \cdot \cosh\left(\frac{x_m}{P}\right) \cdot \left[ \cosh\left(\frac{L}{2 \cdot P}\right) - 1 \right] \quad [\text{m}] \quad (3.41)$$

### 3.3.9.3 Apoio "Enforcado"

O enforcamento do apoio é o fenómeno que ocorre quando a altura do ponto de fixação do condutor é inferior à curva de flecha mínima estabelecida pelos apoios adjacentes, representado na Figura 3.7. Se o apoio fixar os condutores

através de cadeias de suspensão pode, em determinadas condições, ocorrer a rotação das cadeias (Labegalini et al., 1992). Este constrangimento é ultrapassado com a fixação dos condutores com cadeias de amarração.

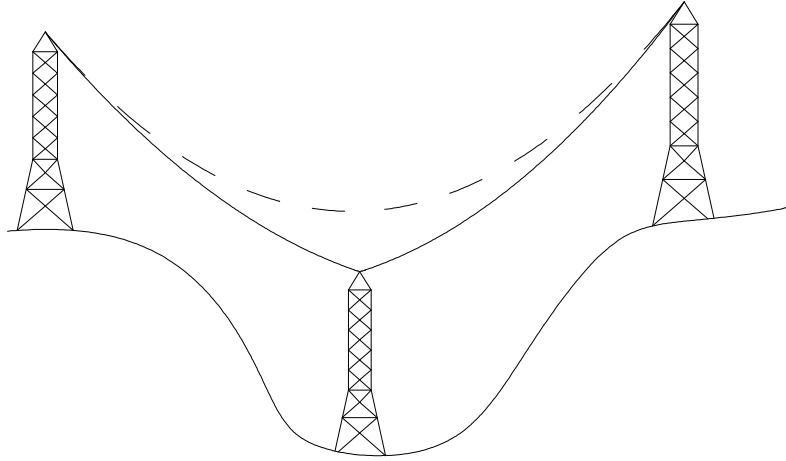


Figura 3.7 - Apoio Enforcado

### **3.3.10 Distâncias Mínimas Regulamentares**

No decorrer do estudo da linha é necessário identificar todos os obstáculos e interferências, para garantir o distanciamento de segurança regulamentar.

Na verificação das distâncias mínimas deve ser considerado, maioritariamente, o estado de verão, flecha máxima, devido aos obstáculos estarem predominantemente sob os condutores, porém, na presença de obstáculos num plano superior ao da linha, deverá ser considerado o estado de inverno, flecha mínima.

### 3.3.10.1 RSLEAT

Na Tabela 3.10 estão reunidas as expressões das distâncias mínimas e o seu valor mínimo, de acordo com o RSLEAT.

**Tabela 3.10 - Distâncias mínimas regulamentares (RSLEAT, 1992)**

Definição		Expressão	Valor Mínimo	Artigo
Distância dos condutores	Ao solo	$D = 6,0 + 0,005 \cdot U$	6,0 m	27.º
	Às árvores	$D = 2,0 + 0,0075 \cdot U$	2,5 m	28.º
	Aos edifícios	$D = 3,0 + 0,0075 \cdot U$	4,0 m	29.º
	A obstáculos diversos	$D = 2,0 + 0,0075 \cdot U$	3,0 m	30.º
Distância entre os condutores e os apoios		$D = 0,10 + 0,0065 \cdot U$	0,15 m	33.º
Distância dos condutores	Às autoestradas e às estradas	$D = 6,3 + 0,01 \cdot U$	7,0 m	91.º
	Aos cursos de água não navegáveis	$D = 6,0 + 0,005 \cdot U$	6,0 m	93.º
	Aos cursos de água navegáveis	$D = 1,5 + 0,005 \cdot U + h$	(2,0 + $h$ ) m	94.º
Distância entre duas linhas		$D = 1,5 + 0,01 \cdot U + 0,005 \cdot L$	2,0 m	109.º

Onde:

$D$  - Distância de segurança [m];

$U$  - Tensão [kV];

$h$  - Altura de mastriação [m];

$L$  - Distância entre o ponto de cruzamento e o apoio mais próximo da linha superior [m].

A distância mínima regulamentar entre os condutores de uma linha está definida no art. 31.º do RSLEAT e é obtida pela expressão:

$$D = 0,75 \cdot k \cdot \sqrt{f + S_L} + \frac{U}{200} \quad [\text{m}] \quad (3.42)$$

Onde:

$f$  - Flecha máxima dos condutores [m];

$S_L$  - Comprimento das cadeias de isoladores suscetíveis a oscilarem transversalmente à linha [m];

$U$  - Tensão nominal da linha [kV];

$k$  - Coeficiente dependente da natureza dos condutores de valor:

- 0,6 para condutores de cobre, bronze, aço e alumínio-aço;
- 0,7 para condutores de alumínio e de ligas de alumínio.

Nos termos do n.º 2 do art. 31.º, fora das zonas de gelo, a distância entre os condutores pode ser inferior ao valor obtido pela equação (3.42), desde que a distância entre os planos horizontais dos respetivos pontos de fixação seja superior a dois terços desse valor (*RSLEAT*, 1992).

Substituindo na equação (3.42) a distância entre os condutores,  $D$ , pela distância de garantia de uma dada armação,  $D_g$ , o vão máximo adjacente a essa armação pode ser obtido pela seguinte expressão (DGE, 1986):

$$L_{\text{máx}} = \sqrt{8P \cdot \left[ \left( \frac{D_g - \frac{U}{200}}{0,75 \cdot k} \right)^2 - S_L \right]} \quad [\text{m}] \quad (3.43)$$

### 3.3.10.2 EN50341

Na Tabela 3.11 estão reunidas as expressões das distâncias mínimas e o seu valor mínimo, de acordo com a EN50341.

Tabela 3.11 - Distâncias Mínimas regulamentares (adaptado de Sequeira, 2009)

Definição		Expressão	Valor Mínimo	Cláusula
Distância dos condutores	Ao solo	$D = 5,0 + D_{el}$	6,0 m	5.9.2
	Às árvores	$D = 2,0 + D_{el}$	2,5 m	5.4.4/PT.1
	Aos edifícios (Vertical)	Ver Tabela 5.11 da EN50341	4,0 m	5.9.3
	Aos edifícios (Horizontal)	$D = 3,0 + 0,0075 \cdot U$	4,0 m	5.4.5.2/PT.2
	A obstáculos diversos	$D = 2,0 + D_{el}$	3,0 m	5.4.5.2/PT.4
Distância dos condutores	Às autoestradas e às estradas	$D = 7,0 + D_{el}$	$7,0 \text{ m} + D_{el}$	5.4.5.3/PT.1
	Aos caminhos de ferro não eletrificados	$D = 7,0 + D_{el}$	$7,0 \text{ m} + D_{el}$	5.4.5.3/PT.1
	Aos caminhos de ferro eletrificados	$D = 12,0 + D_{el}$	13,5 m	5.4.5.3/PT.1
Distância entre duas linhas		$D = 1,0 + D_{pp}$	2,0 m	5.4.5.4/PT.1

Onde:

$D_{el}$  - Distância mínima fase-terra, apresentada na página 13 [m];

$D_{pp}$  - Distância mínima fase-fase, apresentada na página 13 [m].

Segundo a cláusula 5.4.3/PT.2 da EN50341-2-17, os condutores devem manter distâncias entre si não inferiores à distância  $D$  dada por:

$$D = k \cdot (f + S_L)^{0,5} + D_{pp} \quad [m] \quad (3.44)$$

Onde:

$f$  - flecha do condutor à temperatura máxima de projeto [m];

$S_L$  - comprimento do troço oscilante da cadeia de isoladores na direção perpendicular à linha [m];

$k$  - coeficiente de material de valor:

- 0,6 para condutores de cobre, bronze, aço e alumínio-aço;
- 0,7 para condutores de alumínio e de ligas de alumínio.

De acordo com a distância de garantia de uma armação,  $D_g$ , o vão máximo adjacente permitido por essa armação é dado por:

$$L_{m\acute{a}x} = \sqrt{8P \cdot \left[ \left( \frac{D_g - D_{pp}}{k} \right)^2 - S_L \right]} \quad [m] \quad (3.45)$$

### 3.3.11 *Movimento Transversal das Cadeias em Suspensão*

Devido à sua mobilidade, a utilização de cadeias de isoladores em suspensão requer alguns cuidados adicionais relativamente às possíveis oscilações provocadas pela ação do vento, para garantir a distância mínima em relação aos apoios (Checa, 1988).

As cadeias de isoladores estão sujeitas tanto a esforços verticais, relacionados com o peso do condutor e o próprio peso da cadeia, como a esforços horizontais derivados da ação do vento sobre o condutor e sobre a própria cadeia. Na Figura 3.8 está representada a deslocação de uma cadeia desviada transversalmente à linha, com um ângulo  $\theta$  e os esforços associados, onde:

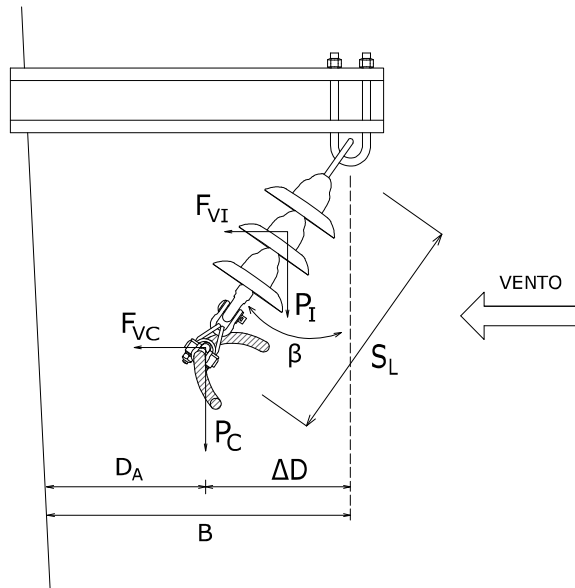
$P_C$  - Peso do condutor [kg];

$F_{VC}$  - Ação do vento sobre o condutor [kg];

$P_I$  - Peso da cadeia de isoladores [kg];

$F_{VI}$  - Ação do vento sobre a cadeia de isoladores [kg];

$S_L$  - Comprimento da cadeia de isoladores [m].



**Figura 3.8 - Movimento transversal da cadeia de isoladores em suspensão**

Supondo que a cadeia é completamente rígida, por forma a simplificar os cálculos associados, a condição de equilíbrio do sistema de forças representado na figura vem dado pela relação (Checa, 1988):

$$F_{VC} \cdot S_L \cdot \cos \beta + F_{VI} \cdot \frac{S_L}{2} \cdot \cos \beta = P_C \cdot S_L \cdot \sin \beta + P_I \cdot \frac{S_L}{2} \cdot \sin \beta \quad (3.46)$$

O ângulo formado pelo movimento transversal da cadeia, em função dos esforços associados vem, então, dado por:

$$\beta = \tan^{-1} \left( \frac{F_{VC} + \frac{F_{VI}}{2}}{P_C + \frac{P_I}{2}} \right) \quad [^\circ] \quad (3.47)$$

O "Projeto-tipo de linhas aéreas até 30kV" indica um ângulo máximo 40 °, mas recomenda que não se exceda 35 °.

O RSLEAT e a EN50341 não fazem referência ao deslocamento da cadeia por indicação de um ângulo, definindo, de uma forma mais abrangente, a distância mínima dos condutores ao apoio. Desta forma, o ângulo máximo fica dependente das dimensões do apoio, travessa, cadeia, condutor e agentes externos.

Considerando a distância mínima dos condutores ao apoio,  $D_A$ , e o comprimento do braço da armação,  $B$ , o ângulo máximo é dado por:

$$\beta = \arcsin\left(\frac{B - D_A}{S_L}\right) \quad [^\circ] \quad (3.48)$$

### **3.3.12 Resistência Mecânica dos Apoios**

Numa linha aérea, os apoios estão sujeitos aos esforços verticais devido ao peso do próprio e dos restantes elementos da linha, aos esforços provenientes da tensão exercida pelos condutores e devido aos agentes atmosféricos. A ação do vento sobre os apoios não é considerada nos cálculos seguintes, tanto para apoios de betão armado, como de aço reticulado, porque os esforços nominais dos apoios já consideram as pressões dinâmicas do vento definidas no RSLEAT.

Na Secção II do RSLEAT e na cláusula 4.2.10.2 da EN50341-2-17 estão enunciadas as hipóteses de cálculo da resistência mecânica, de acordo com função que o apoio desempenha na linha. As diferenças resumem-se à designação do apoio de fim de linha pelo RSLEAT e apoio terminal pela EN50341 e os coeficientes das Hipóteses 2, que serão apresentadas oportunamente.



### 3.3.12.1 Apoios de Alinhamento e de Ângulo

Na Tabela 3.12 estão sintetizadas as hipóteses de cálculo para os apoios de alinhamento e de ângulo. O apoio de alinhamento é um caso particular do apoio de ângulo, ângulo nulo.

Tabela 3.12 - Apoios de Alinhamento e de Ângulo

Hipótese	Descrição	Expressão
Hipótese 1	<p>A sobrecarga do vento, a atuar na direção da bissetriz do ângulo da linha, sobre todos os elementos da linha;</p> <p>A resultante das componentes horizontais das tensões exercidas pelos condutores;</p> <p>O peso próprio de todos os elementos da linha.</p>	$F_{x1} = n_{\text{cond}} \cdot \cos \frac{\beta}{2} \cdot  T_1 - T_2 $ $F_{y1} = n_{\text{cond}} \left[ F_{VC} \cdot \cos^2 \frac{\beta}{2} + (T_1 + T_2) \cdot \sin \beta \right]$ $+ n_{\text{isol}} \cdot F_{VI} + F_{VA}$ $F_{z1} = n_{\text{cond}} \cdot P_{\text{cond}} + n_{\text{isol}} \cdot P_{\text{isol}} + P_{\text{arm}}$
Hipótese 2	<p>A força horizontal, resultante da ação do vento ao longo da bissetriz do ângulo da linha sobre os condutores, multiplicada por:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• 0,2 de acordo com o <b>RSLEAT</b></li> <li>• 0,3 de acordo com a <b>EN50341</b></li> </ul> <p>O peso próprio dos elementos da linha.</p>	$F_{x2} = 0,2 \cdot n_{\text{cond}} \cdot \cos^2 \frac{\beta}{2} \cdot F_{VC} \text{ (RSLEAT)}$ $F_{x2} = 0,3 \cdot n_{\text{cond}} \cdot \cos^2 \frac{\beta}{2} \cdot F_{VC} \text{ (EN50341)}$ $F_{y2} = 0$ $F_{z2} = n_{\text{cond}} \cdot P_{\text{cond}} + N_{\text{isol}} \cdot P_{\text{isol}} + P_{\text{arm}}$

Onde:

$n_{\text{cond}}$  - Número de condutores;

$n_{\text{isol}}$  - Número de cadeias;

$\beta$  - Ângulo formado pela linha [gr.];

$T_1, T_2$  - Tensão máxima dos condutores [daN];

$L_1, L_2$  - Comprimento dos vãos adjacentes [m];

$F_{\text{vc}}$  - Força do vento sobre os condutores [daN];

$S$  - Superfície batida pelo vento [m<sup>2</sup>];

$F_{\text{visol}}$  - Força do vento sobre os isoladores [daN];

$F_{\text{varm}}$  - Força do vento sobre as armações [daN];

$P_{\text{cond}}$  - Peso dos condutores [daN];

$P_{\text{isol}}$  - Peso das cadeias de isoladores [daN];

$P_{\text{arm}}$  - Peso das armações [daN]

$M$  - Momento de torção [daN]

$B_{\text{arm}}$  - Braço da armação [m].

O esquema simplificado dos esforços sobre um apoio é apresentado na Figura 3.9.

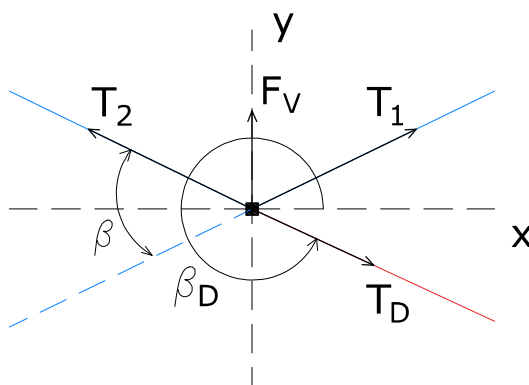


Figura 3.9 - Esquema simplificado dos esforços sobre o apoio

### 3.3.12.2 Apoios de Derivação

Na Tabela 3.13 são apresentadas as hipóteses de cálculo para os apoios de derivação em alinhamento ou em ângulo.

Tabela 3.13 - Apoios de Derivação em Alinhamento ou em Ângulo

Hipótese	Descrição	Expressões
Hipótese 1	<p>A sobrecarga do vento, a atuar na direção da bissetriz do ângulo da linha principal, sobre todos os elementos da linha;</p> <p>A sobrecarga do vento, a atuar na direção anterior, sobre os condutores das linhas derivadas;</p> <p>A resultante das componentes horizontais das tensões exercidas pelos condutores;</p> <p>O peso próprio de todos os elementos das linhas.</p>	$F_{x1} = n_{cond} \left[ \cos \frac{\beta}{2} \cdot  T_1 - T_2  + T_D \cdot \cos \beta_D \right]$ $F_{y1} = n_{cond} \left[ F_{VC} \cdot \cos^2 \frac{\beta}{2} + F_{VCD} \cdot \cos^2 \beta_D +  (T_1 + T_2) \cdot \sin \frac{\beta}{2} + T_D \cdot \sin \beta_D  \right] + n_{isol} \cdot F_{VI} + F_{VA}$ $F_{z1} = n_{cond} \cdot P_{cond} + n_{isol} \cdot P_{isol} + P_{arm}$
Hipótese 2	<p>A sobrecarga do vento, a atuar na direção normal à bissetriz do ângulo da linha principal, sobre todos os elementos da linha;</p> <p>A sobrecarga do vento, a atuar na direção anterior, sobre os condutores das linhas derivadas;</p> <p>A resultante das componentes horizontais das tensões exercidas pelos condutores;</p> <p>O peso próprio de todos os elementos das linhas.</p>	$F_{x2} = n_{cond} \left[ F_{VC} \cdot \sin^2 \frac{\beta}{2} + F_{VCD} \cdot \sin^2 \beta_D +  (T_1 + T_2) \cdot \cos \frac{\beta}{2} + T_D \cdot \cos \beta_D  \right] + n_{isol} \cdot F_{VI} + F_{VA}$ $F_{y2} = n_{cond} \cdot  (T_1 + T_2) \cdot \sin \frac{\beta}{2} + T_D \cdot \sin \beta_D $ $F_{z2} = n_{cond} \cdot P_{cond} + N_{isol} \cdot P_{iso} + P_{arm}$

### 3.3.12.3 Apoios de Fim de Linha

As hipóteses de cálculo dos apoios de fim de linha são apresentadas na Tabela 3.14.

Tabela 3.14 - Apoios de Fim de Linha

Hipótese	Descrição	Expressões
Hipótese 1	<p>A sobrecarga do vento, a atuar na direção normal à linha, sobre todos os elementos da linha;</p> <p>A resultante das componentes horizontais das tensões exercidas pelos condutores;</p> <p>O peso próprio de todos os elementos das linhas.</p>	$F_{x1} = n_{cond} \cdot T_1$ $F_{y1} = n_{cond} \cdot F_{VC} + n_{isol} \cdot F_{VI} + F_{VA}$ $F_{z1} = n_{co} \cdot P_{cond} + n_{isol} \cdot P_{isol} + P_{arm}$
Hipótese 2	<p>A resultante das componentes horizontais das tensões exercidas pelos condutores, considerando a rotura de um dos condutores (torção);</p> <p>O peso próprio de todos os elementos das linhas.</p>	$M = T_1 \cdot B_{arm}$ $F_{z1} = n_{cond} \cdot P_{cond} + n_{isol} \cdot P_{isol} + P_{arm}$

### 3.3.12.4 Apoios de Reforço

Na Tabela 3.15 são apresentadas as hipóteses de cálculo para apoios de reforço em alinhamento ou em ângulo.

Tabela 3.15 - Apoios de Reforço em Alinhamento ou em Ângulo

Hipótese	Descrição	Expressões
Hipótese 1	<p>A sobrecarga do vento, a atuar na direção da bissetriz do ângulo da linha, sobre todos os elementos da linha;</p> <p>A resultante das componentes horizontais das tensões exercidas pelos condutores;</p> <p>O peso próprio de todos os elementos das linhas.</p>	$F_{x1} = n_{cond} \cdot \cos \frac{\beta}{2} \cdot  T_1 - T_2 $ $F_{y1} = n_{cond} \left[ F_{VC} \cdot \cos^2 \frac{\beta}{2} + (T_1 + T_2) \cdot \sin \frac{\beta}{2} \right] + n_{isol} \cdot F_{VI} + F_{VA}$ $F_{z1} = n_{cond} \cdot P_{cond} + n_{isol} \cdot P_{isol} + P_{arm}$
Hipótese 2	<p>A força horizontal, resultante da soma das tensões exercidas pelos condutores, segundo a direção normal à bissetriz do ângulo, multiplicada por:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• 2/3 de acordo com o <b>RSLEAT</b></li> <li>• 0,9 de acordo com a <b>EN50341</b></li> </ul> <p>O peso próprio dos elementos das linhas.</p>	$F_{x2} = \frac{2}{3} \cdot n_{cond} \cdot (T_1 + T_2) \text{ (RSLEAT)}$ $F_{x2} = 0,9 \cdot n_{cond} \cdot (T_1 + T_2) \text{ (EN50341)}$ $F_{y2} = 0$ $F_{z2} = n_{cond} \cdot P_{cond} + N_{isol} \cdot P_{isol} + P_{arm}$

Para o cálculo da resistência mecânica dos apoios de reforço em derivação, as hipóteses de cálculo são apresentadas na Tabela 3.16

**Tabela 3.16 - Apoios de Reforço em Derivação**

Hipótese	Descrição	Expressões
Hipótese 1	<p>A sobrecarga do vento, a atuar na direção da bissetriz do ângulo da linha principal, sobre todos os elementos da linha;</p> <p>A sobrecarga do vento, a atuar na direção anterior, sobre os condutores das linhas derivadas;</p> <p>A resultante das componentes horizontais das tensões exercidas pelos condutores;</p> <p>O peso próprio de todos os elementos das linhas.</p>	$F_{x1} = n_{cond} \left[ \cos \frac{\beta}{2} \cdot  T_1 - T_2  + T_D \cdot \cos \beta_D \right]$ $F_{y1} = n_{cond} \left[ F_{VC} \cdot \cos^2 \frac{\beta}{2} + F_{VC_D} \cdot \cos^2 \beta_D +  (T_1 + T_2) \cdot \sin \beta + T_D \cdot \sin \beta_D  \right] + n_{isol} \cdot F_{VI} + F_{VA}$ $F_{z1} = n_{cond} \cdot P_{cond} + n_{isol} \cdot P_{isol} + P_{arm}$
Hipótese 2	<p>A força horizontal, resultante da soma das tensões exercidas pelos condutores, segundo a direção normal à bissetriz do ângulo, multiplicada por:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• 2/3 de acordo com o <b>RSLEAT</b>;</li> <li>• 0,9 de acordo com a <b>EN50341</b>.</li> </ul> <p>A resultante das componentes horizontais das tensões exercidas pelos condutores da linha derivada;</p> <p>O peso próprio de todos os elementos das linhas.</p>	$F_{x2} = \frac{2}{3} \cdot n_{cond} \cdot (T_1 + T_2) + n_{cond} \cdot  (T_1 - T_2) \cdot \cos \frac{\beta}{2} + T_D \cdot \cos \beta_D  \text{ (RSLEAT)}$ $F_{x2} = \frac{2}{3} \cdot n_{cond} \cdot (T_1 + T_2) + n_{cond} \cdot  (T_1 - T_2) \cdot \cos \frac{\beta}{2} + T_D \cdot \cos \beta_D  \text{ (EN50341)}$ $F_{y2} = n_{cond} \cdot  (T_1 + T_2) \cdot \sin \frac{\beta}{2} + T_D \cdot \sin \beta_D $ $F_{z2} = n_{cond} \cdot P_{cond} + N_{isol} \cdot P_{isol} + P_{arm}$

### 3.3.12.5 Redução dos Esforços para o Topo do Apoio

Dependendo da armação utilizada, os condutores podem estar, ou não, distribuídos sobre o mesmo plano e, do mesmo modo, as forças que atuam sobre eles. Como os esforços aplicados ao apoio resultam num momento derrubante, é necessário determinar o momento resultante da atuação individual dos condutores, tendo em consideração a posição de cada um no poste.

A redução dos esforços ao topo do apoio consiste na determinação da força correspondente ao momento resultante, aplicada no plano onde são indicadas as solicitações nominais do apoio.

Este cálculo, designado como redução dos esforços ao topo do apoio, permite comparar, no mesmo plano, a solicitação nominal do apoio com a resultante das forças que lhe são aplicadas.

A redução dos esforços é expressa por:

$$F = \sum_{i=1}^n \frac{F_i \cdot h_i}{H - 0,25} \quad [\text{daN}] \quad (3.49)$$

Onde:

$n$  - Número de condutores;

$F_i$  - Resultante da força aplicada ao condutor  $i$  [daN];

$h_i$  - Altura do ponto de fixação da cadeia do condutor  $i$  [m];

$H$  - Altura útil do apoio [m].

A redução dos esforços para o topo do apoio é efetuada para se otimizar o dimensionamento dos apoios.

### 3.3.12.6 Escolha do Apoio

Concluídos os cálculos definidos pelas hipóteses da função do apoio na linha, o apoio selecionado deverá ser aquele que, salvo algum coeficiente de segurança que o projetista pretenda definir, tenha o menor esforço e cujo as solicitações nominais superem os esforços resultantes.

Nos apoios do betão, a verificação analítica dessa condição, é feita pelas equações vetoriais dos esforços nominais, tendo em consideração a direção e pressão dinâmica do vento (Cavan, 1997).

$$\frac{F_Y}{F_P} + \frac{F_X}{F_S} \leq 1, \text{ com vento na direção principal} \quad (3.50)$$

$$\frac{F_X}{F_P} + \frac{F_Y}{F_S} \leq 1, \text{ com vento na direção principal} \quad (3.51)$$

Onde:

$F_X$  - Esforço resultante em x [daN];

$F_Y$  - Esforço resultante em y [daN];

$F_P$  - Solicitação nominal principal batida a vento [daN];

$F_S$  - Solicitação nominal secundária batida a vento [daN].

De acordo com as "Recomendações para Linhas Aéreas de Alta Tensão até 30kV", é desnecessário o cálculo do esforço vertical em apoios de betão. Nas linhas com apoios em aço reticulado é necessário garantir que o peso as cadeias de isoladores e dos condutores nos semi-vãos adjacentes não excede a solicitação nominal dos apoios, verificada através da condição:

$$\frac{P}{F_Z} \leq 1 \quad (3.52)$$

Onde:

$P$  - Esforço resultante do peso dos condutores e isoladores [daN];

$F_Z$  - Solicitação nominal em z [daN].



No dimensionamento dos apoios metálicos, o critério é semelhante com a particularidade de o cálculo ser feito por consola.

### **3.3.13      *Cálculo Mecânico das Armações***

As armações estão sujeitas a esforços verticais devidos ao peso próprio, ao peso das cadeias e dos condutores, e a esforços provenientes da tensão exercida pelos condutores e aos devidos à ação do vento sobre os elementos da linha.

Concluídos os cálculos definidos pelas expressões estabelecidas para a função da travessa na linha, idêntica à que foi definida para o apoio, deverá ser selecionada a travessa com o menor perfil que, salvo algum coeficiente de segurança que o projetista pretenda definir, tenha por fase, o menor esforço vertical, transversal e longitudinal, que no diagrama de utilização da travessa que supere os esforços resultantes.

Por forma a simplificar os cálculos necessários apresentados subsequentemente, considera-se a seguinte simbologia:

$F_{VT}$  - Solicitação vertical por fase;

$F_T$  - Solicitação horizontal transversal por fase;

$F_L$  - Solicitação horizontal longitudinal por fase;

$F_1$  - Solicitação horizontal longitudinal por vão adjacente e por fase.

### 3.3.13.1 Armações de Alinhamento

A expressões para determinação dos esforços sobre as armações de alinhamento, segundo as "Recomendações para Linhas Aéreas de Alta Tensão até 30Kv", estão apresentados na Tabela 3.17.

Tabela 3.17 - Cálculo mecânico das armações de alinhamento (DGE, 1986)

Solicitações Normais	Solicitações Excepcionais
Hipótese 1: $F_T = F_{VC}$ $F_{VT} = P_{cond}$	--

### 3.3.13.2 Armações de Ângulo

De forma a dimensionar as armações de ângulo, os cálculos necessários são apresentados na Tabela 3.18.

Tabela 3.18 - Cálculo mecânico das armações de ângulo (DGE, 1986)

Solicitações Normais	Solicitações Excepcionais
Hipótese 1: $F_T = F_{VC} \cdot \cos \beta + (T_1 + T_2) \cdot \sin \beta$ $F_{VT} = P_{cond}$	--

### 3.3.13.3 Armações de Reforço

Na Tabela 3.19 são exibidos os cálculos para o dimensionamento das armações de reforço em alinhamento.

Tabela 3.19 - Cálculo mecânico das armações de reforço em alinhamento (DGE, 1986)

Solicitações Normais	Solicitações Excepcionais
<p>Hipótese 1:</p> $F_T = F_{VC}$ $F_{VT} = P_{\text{cond}}$ $F_l = T_1$	<p>Hipótese 3:</p> $F_{VT} = P_{\text{cond}}$ $F_l = T_1$

Nas situações em que seja necessário o dimensionamento de armações de reforço em ângulo, devem ser realizados os cálculos apresentados na Tabela 3.20.

Tabela 3.20 - Cálculo mecânico das armações de reforço em ângulo (DGE, 1986)

Solicitações Normais	Solicitações Excepcionais
<p>Hipótese 1:</p> $F_T = F_{VC} \cdot \cos \beta + (T_1 + T_2) \cdot \sin \beta$ $F_{VT} = P_{\text{cond}}$ $F_l = T_1 \cdot \cos \beta$	<p>Hipótese 3:</p> $F_T = (T_1 + T_2) \cdot \sin \beta$ $F_{VT} = P_{\text{cond}}$ $F_l = T_1 \cdot \cos \beta$

#### 3.3.13.4 Armações de Derivação

Os cálculos apresentados na Tabela 3.21 devem ser verificados sempre que se empreguem armações de derivação.

Tabela 3.21 - Cálculo mecânico das armações de derivação (DGE, 1986)

Solicitações Normais	Solicitações Excepcionais
<p>Hipótese 1:</p> $F_T = F_{VD} \cdot \sin^2 \beta_D + (T_D) \cdot \sin \beta_D$ $F_{VT} = P_{\text{condD}}$ $F_L = T_D \cdot \cos \beta_D$	<p>Hipótese 2:</p> $F_T = T_D \cdot \cos \beta_D$ $F_{VT} = P_{\text{condD}}$ $F_L = T_D \cdot \cos \beta_D$

#### 3.3.13.5 Armações de Fim de Linha

Na Tabela 3.22 são apresentados os cálculos que são necessários verificar no dimensionamento de uma armação de fim de linha.

Tabela 3.22 - Cálculo mecânico das armações de fim de linha (DGE, 1986)

Solicitações Normais	Solicitações Excepcionais
<p>Hipótese 1:</p> $F_T = F_{VC}$ $F_{VT} = P_{\text{cond}}$ $F_L = T$	<p>Hipótese 2:</p> $F_{VT} = P_{\text{cond}}$ $F_L = T$

## 4 - Comparação entre o RSLEAT e a EN50341

### 4.1 Diferenças entre os regulamentos

Na Tabela 4.1 são apresentadas as diferenças entre o RSLEAT e a EN50341.

Tabela 4.1 - Diferenças entre o RSLEAT e a EN50341

	RSLEAT	EN50341	Comentário
Coeficientes de Segurança	Omisso.	Impõe coeficientes de segurança sobre as cargas de vento e de gelo.	--
Nível de fiabilidade da linha	Omisso.	Estabelece o nível de fiabilidade mínimo para cada instalação.	--
Duração das instalações provisórias	Estritamente necessário.	3 anos.	--
Faixa de proteção	15 m	25 m	--

	RSLEAT	EN50341	Comentário
<b>Pressão dinâmica do vento</b>	Variação por escalões em função da altura acima do solo.	Variação exponencial para alturas superiores a 20 m.	Ver capítulo 3.3.2.3
<b>Zonas de gelo</b>	Acima de 700 m.	Acima de 600 m.	--
<b>Cálculo mecânico dos apoios</b>	--	A EN50341 é mais exigente na consideração da Hipótese 2.	Ver capítulo 3.3.12
<b>Afastamento dos apoios de reforço</b>	15 vãos.	10 vãos.	--
<b>Isoladores</b>	Força de rotura não inferior a 2,5 vezes a tração máxima dos condutores.	Força de rotura pelo menos igual à tração de rotura dos condutores.	--
<b>Reforço de isolamento</b>	Tensões suportáveis ao choque e à frequência industrial sob chuva superiores em 20%.	Tração de rotura superior em 25%.	O RSLEAT impõe um reforço elétrico enquanto a EN50341 impõe um reforço mecânico
<b>Hastes de descarga</b>	Prevê a sua utilização.	Omisso.	--
<b>Coordenação de isolamento</b>	A cargo do ORD.	Estabelece os níveis de isolamento e as distâncias mínimas associadas	--

	RSLEAT	EN50341	Comentário
<b>Distâncias Mínimas</b>	As distâncias mínimas variam de acordo com a tensão da instalação.	As distâncias mínimas variam de acordo com o nível de isolamento da instalação.	Ver capítulo 3.3.10
<b>Distância mínima entre condutores de fase</b>	$D = 0,75\sqrt{f + S_L} + \frac{U}{200}$	$D = \sqrt{f + S_L} + D_{pp}$	A expressão segundo o RSLEAT é afetada por um valor de 0,75, permitindo uma maior aproximação entre condutores e consequentemente vãos mais longos.
<b>Tensões de contacto e de passo</b>	Não impões limites para estas tensões.	Estabelece os valores limite destas tensões	Ver capítulo 2.4.4.1
<b>Categorias de localização</b>	Omisso.	Define categorias de localização de acordo com a densidade populacional.	Ver capítulo 2.4.4.1

## 4.2 Caso Prático

A análise sistemática feita neste documento, onde nos capítulos *supra* estão desenvolvidos os conceitos e expressões de cálculo, necessários ao projeto de linhas elétricas aéreas de alta tensão até 30 kV, de acordo com a legislação nacional e a norma europeia, não ficaria completa sem a aplicação das referidas regulamentações a um caso concreto.

Com esse objetivo, foi selecionado um perfil longitudinal, realizado este ano por uma empresa de topografia que presta serviços para o ORD de distribuição, que pudesse ser representativo na geografia do terreno, nos condicionalismos de construção e no comprimento das linhas deste nível de tensão, na zona centro do país.

Para salvaguardar a identidade dos proprietários dos terrenos atravessados, os seus contactos e os limites das propriedades foram substituídos por outros fictícios, que não têm qualquer correspondência à realidade. Estes não foram omitidos porque esta informação é uma parte constituinte do perfil.

A linha elétrica será isolada a 30 kV e explorada a 15 kV, para a eventualidade de no futuro haver uma conversão de tensão, como tem ocorrido de uma forma generalizada nos últimos anos para a uniformização da tensão de distribuição.

O departamento de planeamento definiu como condutor o Al-aço de 160 mm<sup>2</sup> e os pontos de injeção das linhas derivadas.

A linha elétrica tem como destino um posto seccionamento e de transformação que irá reforçar a rede subterrânea local e substituir, em parte, uma linha em fim de vida, que será desmontada logo que estejam reunidas condições para isso.



Na fase pré-estudo, foi realizado o levantamento dos condicionalismos, de que resultou na Tabela 4.2.

**Tabela 4.2 - Caraterização da linha em projeto**

<b>Caracterização da linha em projeto</b>	
Designação	Linha de MT, A 15(30kV) nº 0510 L3 0888 p/ PST VLR 0088D Casal Velho
Condutor e tensão máxima de tração	Al-aço 160 mm <sup>2</sup> , com T <sub>max</sub> de 9 daN/mm <sup>2</sup>
Concelho / Freguesia	Vila de Rei / Freguesias de Cima e de Baixo
Código de obra	2800-20C008888
Número de desenho (planta de localização)	04.0099.20
Número de desenho (perfil e planta parcelar)	01.0100.20
Número de desenho (pormenor de Telecom)	02.0101.20
<b>Caracterização da linha em projeto origem</b>	
Designação da linha	Linha de MT, A 15(30kV) nº 0510 L3 0044 p/ PT VLR 0044D Rua Cimeira
Arqº e Procº de licenciamento	Arqº811 Procº 1/211
Condutor e tensão máxima de tração	Al-aço 160 mm <sup>2</sup> , com T <sub>max</sub> de 9 daN/mm <sup>2</sup>
<b>Condicionantes</b>	
Zona	A
Proteção à avifauna (ICNF)	Não aplicável
Aves de pequeno porte	Grande concentração (na freguesia de Baixo)
Cegonha Branca	Não aplicável

Condicionantes	
Zona Inundável	Não aplicável
Zona de Gelo (h>700 m / h>600 m)	Em parte da linha
Agência Portuguesa do Ambiente (APA)	Ribeira Grande; Barragem, várias L.A.
Reserva Ecológica Nacional (REN)	Não aplicável
Reserva Agrícola Nacional (RAN)	Não aplicável
Infraestruturas de Portugal (vias férreas, AE e EN)	EN 138, ao km 102+500; AE 88, ao PK 888.88
Cruzamento com EM	Várias EM s/nº; EM 540,
Cruzamento com linhas de Telecom.	Vários cruzamentos
Cruzamento com linhas de BT / MT / AT	LAMT Nº0510 L3 0016 e 0510 L3 0101
Instalações com perigo de explosão	Não aplicável
Proximidade a aeródromos	Não aplicável

O projeto da linha elétrica teve início com a identificação dos obstáculos e a marcação das distâncias de segurança impostas pela regulamentação aplicável. De seguida, foram sendo localizados sucessivamente os apoios, tendo em consideração os condicionalismos atrás identificados, os referenciados no perfil longitudinal e na planta parcelar, conciliando sempre o previsto interesse dos proprietários dos terrenos atravessados, localizando os apoios nas extremas das propriedades. As distribuições dos apoios obtidas para os projetos segundo o RSLEAT e a EN50341 são apresentadas nos Anexo G e Anexo K, respetivamente.

Terminada a otimização da distribuição dos apoios e definida a respetiva altura, que garante o cumprimento de todas as distâncias de segurança, é realizado o cálculo de estabilidade dos apoios e travessas. O dimensionamento dos apoios é apresentado nos Anexo H e Anexo L, para o projeto segundo o RSLEAT e a EN50341 respetivamente.

Os projetos segundo o RSLEAT e a EN50341 são apresentados nos Anexo F e Anexo J, respetivamente.

A partir da comparação dos projetos executados é possível identificar as seguintes diferenças:

1. A EN50341 é muito mais exigente que o RSLEAT na distância mínima entre os condutores, conseqüentemente, no projeto concebido de acordo com a primeira, o comprimento médio dos vãos é muito menor e tem um número de apoios superior e de menor altura, uma vez que a flecha será inferior.

A Tabela 4.3 apresenta as situações mais representativas.

**Tabela 4.3 - Relação entre os vãos máximos permitidos pelo condutor AL-aço 160**

Armação	Parâmetro médio [m]	Vão Máximo [m]	
		RSLEAT	EN50341
HRFSC3	1010	245,7	125,8
GAL	1355	474,3	288,1

A maior exigência de segurança da norma na distância entre os condutores, obrigou a utilizar recorrentemente travessas de amarração com distâncias entre condutores de maior comprimento.

Esta diferença é significativa e, eventualmente problemática, quando o perfil do terreno, permite ou exige, vãos com comprimentos entre os 350 m e 500 m, como aconteceu no projeto elaborado pelo regulamento, no troço entre os apoios 19 e 23, e no projeto de linha elaborado pela norma no troço entre os apoios 26 e 30.

Nas travessas de alinhamento, e em concreto na GAL, a limitação efetiva do comprimento do vão não foi tão evidente porquanto esta travessa permite vãos superiores aos da GAN e que normalmente são limitados pela geografia do terreno e não pela distância entre os condutores.

Nos apoios de fim de linha, onde frequentemente se utilizam travessas em esteira horizontal, a distância mínima entre condutores tratada no ponto anterior, foi evidente, nomeadamente, na incapacidade de utilizar a travessa HRFSC 120, no projeto elaborado pela norma.

2. A EN50341 é muito mais exigente que o RSLEAT no número máximo de vãos entre apoios de reforço, respetivamente 10 e 15 que, no caso em estudo, resultou em mais 3 apoios de reforço.

A Tabela 4.4 apresenta a distância média obtida entre apoios de reforço de acordo com cada regulamentação.

**Tabela 4.4 - Distância média entre apoios de reforço**

	<b>Distância média entre reforços [km]</b>	<b>Relação</b>
RSLEAT	2,5	79%
EN50341	1,4	

Nos apoios de reforço, onde frequentemente se utilizam travessas em esteira horizontal, o aumento da distância mínima entre condutores exigida pela EN50341 foi evidente, nomeadamente, pela necessidade de utilizar apoios em pórtico nos apoios adjacentes, de forma a aumentar a distância entre condutores a meio vão e garantir vãos mais longos. Esta questão pode ser observada nos troços entre os apoios 1 e 3 e os apoios 27 e 29.

3. A EN50341 é, igualmente, mais exigente que o RSLEAT na definição de zonas de gelo, respetivamente a partir dos 600 m e 700 m de altitude, o que, no caso em estudo, provocou efeitos sobre mais 8 vãos.

Em zonas de gelo, a formação de mangas de gelo provoca o aumento da flecha dos condutores e, conseqüentemente, da distância mínima entre estes, resultando num comprimento médio de 194 m para o RSLEAT e 149 m para a

EN50341, traduzindo-se numa diminuição de 77% no comprimento dos vãos no projeto segundo a EN50341.

4. Na aplicação da EN50341 resulta uma maior solicitação nominal ao apoio comparada com o RSLEAT na definição da hipótese 2 do cálculo dos apoios de ângulo e de reforço.

Na Tabela 4.5 são apresentadas as hipóteses de cálculo de um apoio de ângulo representativo, para os vãos médios de 203 m e 166 m, obtidos respetivamente para os projetos segundo o RSLEAT e a EN50341, e ângulo médio de 15,8 gr.

**Tabela 4.5 - Esforços sobre apoios de ângulo**

	Vão [m]	Ângulo [gr.]	Hipótese 1 [daN]		Hipótese 2 [daN]		Apoio recomendado
			$\Sigma F_y$	$\Sigma F_x$	$\Sigma F_y$	$\Sigma F_x$	
RSLEAT	203	15,8	1556	0	0	88	1600-740
EN50341			1541	0	0	128	1600-740
RSLEAT	166	15,8	1476	0	0	72	1600-740
EN50341			1464	0	0	105	1600-740

Na Tabela 4.6 são apresentadas as hipóteses de cálculo de dois apoios de reforço representativos, para os vãos médios de 197 m e 143 m, obtidos respetivamente para os projetos segundo o RSLEAT e a EN50341, e de ângulo nulo.

**Tabela 4.6 - Esforços sobre apoios de reforço**

	Vão [m]	Ângulo [gr.]	Hipótese 1 [daN]		Hipótese 2 [daN]		Apoio recomendado
			$\Sigma F_y$	$\Sigma F_x$	$\Sigma F_y$	$\Sigma F_x$	
RSLEAT	197	0	495	0	0	2843	5000-2350
EN50341			480	0	0	3837	5000-2350
RSLEAT	143	0	376	0	0	2843	5000-2350
EN50341			365	0	0	3837	5000-2350

Esta exigência resulta num aumento significativo dos esforços longitudinais no dimensionamento dos apoios de reforço. O apoio recomendado é idêntico em ambos os projetos devido às gamas normalizadas pelo ORD suportarem os esforços resultantes do RSLEAT e da EN50431.

5. A EN50341 é muito mais exigente que o RSLEAT nos coeficientes de segurança a aplicar aos esforços sobre todos os elementos, impondo os coeficientes de 40% para cargas de vento e de 50% para cargas de gelo. O regulamento não impõe a utilização destes coeficientes.

No projeto realizado, segundo o regulamento, não foram considerados coeficientes de segurança, de forma a não influenciar os resultados obtidos e alterar as conclusões deste estudo.

Nas Tabela 4.7 e Tabela 4.8 são apresentadas as hipóteses de cálculo dos apoios representativos anteriores.

**Tabela 4.7 - Esforços sobre apoios de ângulo aplicando coeficientes de segurança**

	Vão [m]	Ângulo [gr.]	Hipótese 1 [daN]		Hipótese 2 [daN]		Apoio recomendado
			$\Sigma F_y$	$\Sigma F_x$	$\Sigma F_y$	$\Sigma F_x$	
RSLEAT	203	15,8	1556	0	0	88	1600-740
EN50341			2158	0	0	179	2250-1000
RSLEAT	166	15,8	1476	0	0	72	1600-740
EN50341			2049	0	0	147	2250-1000

**Tabela 4.8 - Esforços sobre apoios de reforço aplicando coeficientes de segurança**

	Vão [m]	Ângulo [gr.]	Hipótese 1 [daN]		Hipótese 2 [daN]		Apoio recomendado
			$\Sigma F_y$	$\Sigma F_x$	$\Sigma F_y$	$\Sigma F_x$	
RSLEAT	197	0	495	0	0	2843	5000-2350
EN50341			672	0	0	5372	7500-3400
RSLEAT	143	0	376	0	0	2843	5000-2350
EN50341			511	0	0	5372	7500-3400

Verifica-se que a aplicação dos coeficientes impostos pela EN50341 resulta na consideração de esforços sobre os apoios mais elevados e torna a instalação mecanicamente mais robusta.

6. A EN50341 é mais exigente que o RSLEAT na determinação do nível de coordenação de isolamento. A EN50341, para as linhas elétricas até 30 kV, determina um valor mínimo de 250 kV. O RSLEAT transfere ao ORD a correta coordenação de isolamento, sem dedicar qualquer valor.

Para as linhas deste nível de tensão, o ORD definiu o nível de coordenação de isolamento concordante com o da EN50341 e, por esta razão, não se verificaram diferenças nos projetos efetuados.

7. As distâncias mínimas aos obstáculos calculadas para 30 kV e as distâncias consideradas no projeto são apresentadas na Tabela 4.9.

**Tabela 4.9 - Comparação entre as distâncias mínimas aos obstáculos**

<b>Distância mínima</b>	<b>RSLEAT [m]</b>	<b>EN50341 [m]</b>	<b>Projeto [m]</b>
Ao solo	$D = 6,15$	$D = 5,60$	$D = 10,0$
Às árvores	$D = 2,50$	$D = 2,50$	$D = 4,00$
Aos edifícios	$D = 4,00$	$D = 4,00$	$D = 5,00$
A obstáculos diversos	$D = 3,00$	$D = 3,00$	$D = 4,00$
Aos apoios (em repouso)	$D = 0,30$	$D = 0,48$	$D = 0,48$
Às estradas (AE, IP, IC)	$D = 7,00$	$D = 7,48$	$D = 9,00$
Aos cursos de água não navegáveis	$D = 6,15$	$D = 6,48$	$D = 7,00$
Aos cursos de água navegáveis	$D = 2,00 + h$	$D = 2,48 + h$	$D = 3,00 + h$
Aos teleféricos	$D = 4,00$	$D = 4,48$	Não aplicável
Aos caminhos-de-ferro não electrificados	$D = 7,00$	$D = 7,48$	Não aplicável
Aos caminhos-de-ferro c/ electrificação prevista	$D = 13,50$	$D = 13,50$	Não aplicável
Às linhas AT/MT/BT	$D = 2,00$	$D = 2,00$	$D = 3,00$
Aos apoios da linha superior	$D = 2,23$	$D = 2,00$	$D = 3,00$
Às linhas de telecomunicações (cruz. superior)	$D = 2,00$	$D = 2,00$	$D = 3,00$

Onde  $h$  é a altura de mastreação.

Na distância mínima dos condutores ao solo, o RSLEAT é mais exigente que a EN50341 e nas restantes distâncias a considerar, estes apresentam valores semelhantes, sendo a EN50341 mais exigente na distância entre os condutores e os apoios.



Prevenindo futuros cruzamentos com novas linhas de energia e outras dificuldades que possam comprometer as distâncias mínimas regulamentares, o ORD recomenda distâncias aos obstáculos superiores ao valor mínimo definido. Estas recomendações foram assumidas nos projetos efetuados.

8. A orçamentação dos projetos segundo o RSLEAT e a EN50341 é apresentada nos Anexo I e Anexo M, respetivamente.

No caso em estudo, o projeto segundo a EN50341 apresenta um custo de 16,75% superior ao projeto segundo o RSLEAT. Este aumento está relacionado a exigência apresentada pela norma europeia, que se traduz na necessidade de um maior número de apoios e soluções construtivas mais robustas e consequentemente mais dispendiosas.

Este valor é condicionado pelo número de apoios de ângulo e de derivação que o perfil em estudo apresenta, que impõem a localização exata dos postes. Sem estes condicionalismos, os projetos apresentariam uma diferença de custos mais elevada.



## 5 - Conclusões e Trabalho Futuro

### 5.1 Conclusões

Para dar resposta aos objetivos previamente definidos foi feita a análise detalhada e comparativa de linhas elétricas aéreas até 30 kV, considerando o RSLEAT e a EN50341.

Nos dois projetos elaborados sobre o mesmo perfil longitudinal, com base na regulamentação dos dois documentos distintos, o RSLEAT e a EN50341, verificam-se diferenças de critérios, que obrigam a soluções distintas e que tiveram impacto no custo da linha.

Para o nível de tensão das linhas em estudo, os regulamentos apresentam diversas semelhanças entre si, sendo o RSLEAT uma das referências consideradas nos aspetos normativos nacionais.

A principal diferença verificada entre os regulamentos consiste na distância mínima permitida entre condutores, que influencia diretamente a flecha máxima permitida e, conseqüentemente, comprimento dos vãos de uma linha elétrica.

Na Figura 5.1 é apresentada a relação das flechas máximas em função das distâncias entre condutores das armações. Nas armações de amarração é considerado um ângulo nulo.

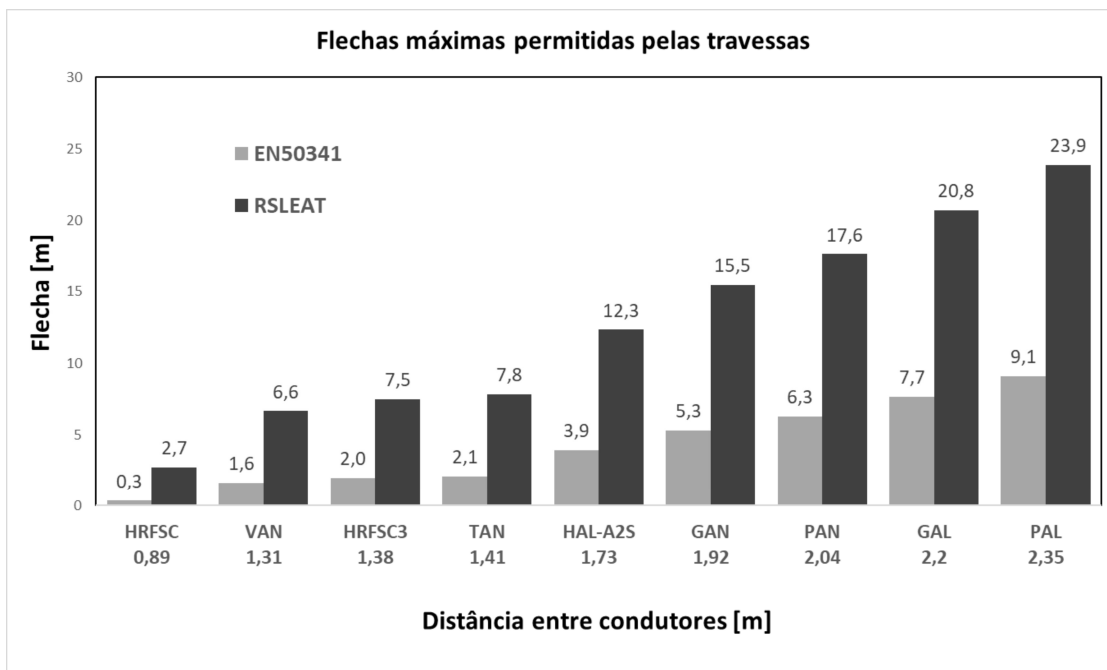


Figura 5.1 - Flechas máximas por travessa, para Al-aço 160 mm<sup>2</sup> com  $T_{\max}$  de 9 daN/mm<sup>2</sup>

Através da análise às expressões desta distância, verifica-se que estas apresentam dois fatores com influências distintas.

O primeiro fator, relacionado com a tensão da linha, segundo o RSLEAT, e a distância fase-fase, de acordo a EN50341. Este fator *per si*, permite que segundo o RSLEAT, a flecha máxima seja superior.

A título de exemplo, para o cabo de Al-aço de 160 mm<sup>2</sup>, tracionada à tensão máxima de 9 daN/mm<sup>2</sup>, permite um aumento da flecha de 347% para a armação HRFSC e de 59% para a armação PAN, respetivamente as travessas de amarração com menor e maior distância entre condutores.

O segundo fator, meramente regulamentar, é apenas considerado no RSLEAT e, sobre o fator anterior, permite um aumento da flecha de 78% do RSLEAT em relação à EN50341.

Aplicando este fator, ao cabo de Al-aço de 160 mm<sup>2</sup>, tracionado à tensão máxima de 9 daN/mm<sup>2</sup>, o regulamento permite um aumento da flecha de 697% para a armação HRFSC e 182% para a armação em pórtico.

Consequentemente, a relação entre as distâncias dos condutores e os vãos máximos que limitam a localização dos apoios é dada pela Figura 5.2.

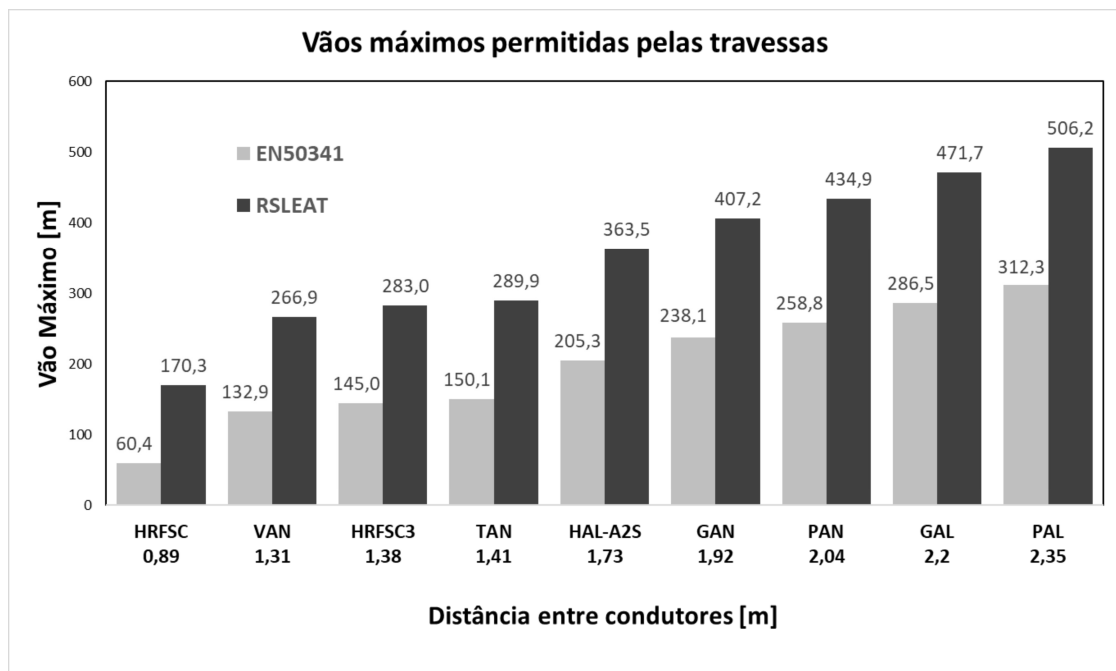


Figura 5.2 - Vãos máximos por travessas, para Al-aço 160 mm<sup>2</sup> com  $T_{\max}$  de 9 daN/mm<sup>2</sup>

O RSLEAT permite vãos superiores em 182% para a travessa HRFSC e 68% para a travessa PAN, em relação aos vãos permitidos pela EN50341.

De forma a serem projetados vãos com o comprimento médio normal em Portugal, seria necessário adequar as armações normalizadas com distâncias entre condutores superiores.

A aplicação da EN50341 em Portugal resultaria numa rede elétrica mais robusta mecânica e eletricamente, reduzindo desta forma o número de interrupções de fornecimento provocadas pelos agentes atmosféricos e pela aproximação dos condutores.

A coordenação de isolamento não foi um ponto de divergência na execução dos projetos pela adoção do ORD do nível de tensão da EN50341, uma vez que o regulamento não impõe valores mínimos.

## ***5.2 Trabalho Futuro***

Como trabalho, e com vista ao futuro, propõe-se o estudo das soluções construtivas sobre zonas de diferentes topografias da considerada neste documento, nomeadamente, em planície, zona urbana ou costeira, recorrendo a condutores de secção nominal distinta, de forma a complementar este estudo e obter conclusões mais generalizadas.

De igual modo, propõe-se a aplicação deste estudo sobre linhas elétricas aéreas de 60 kV para verificar o impacto do aumento da altura dos condutores acima do solo e das distâncias mínimas entre condutores.

## Bibliografia

- ANAC. (2003). Circular de Informação Aérea—Limitações em Altura e Balizagem de Obstáculos Artificiais à Navegação Aérea, Autoridade Nacional da Aviação Civil.
- Avril, C. (1974). Construction des Lignes Aériennes a Haute Tension—Technique française d'études et de réalisation. Éditions Eyrolles.
- Cardoso, R. (2016). Cálculo automático para projecto de linha aérea até 30 kV. Faculdade de Ciências e Tecnologias - UNL.
- Cavan. (1997). Cavan—Catálogo de Produtos.
- Checa, L. M. (1988). Líneas de Transporte de Energía (3.<sup>a</sup> ed.). S.A MARCOMBO.
- Decreto Regulamentar 1/92 de 18 de Fevereiro da Direcção-Geral de Energia, Pub. L. No. Diário da República n.º 41/1992, Série I-B, Direcção Geral de Energia (1992). [www.dre.pt](http://www.dre.pt)
- Decreto-Lei n.º 29/2006 de 15 de Fevereiro, Pub. L. No. Diário da República n.º 33/2006, Série I-A, (2006).

Decreto-Lei n.º 26852 de 30 de julho de 1936, Pub. L. No. Diário do Governo n.º 177/1936, Série-I, (1936).

DGE. (1986). Recomendações para Linhas Aéreas de Alta Tensão até 30 kV (MT).  
Direcção Geral de Energia.

EDP. (2000). Material para linhas aéreas—Isoladores rígidos de eixo vertical—  
DMA-C66-130/N.

EDP. (2004). Apoios para Linhas Aéreas—Postes de Betão para redes de MT -  
DMA-C67-215/N.

EDP. (2006). Material para Linhas Aéreas—Balizadores—DMA-C66-917/N.

EDP. (2007). Material para linhas aéreas—Conjuntos de acessórios para cadeias  
de amarração e de suspensão—DMA-C66-902/N.

EDP. (2008a). Guia de Coordenação de Isolamento—Regras de Execução e de  
montagem—DRE-C10-001/N.

EDP. (2008b). Materiais para Linhas Aéreas—Isoladores para linhas aéreas—  
DMA-C66-140/N.

EDP. (2008c). Suportes para Linhas Aéreas—Postes de aço reticulado da série F  
para linhas aéreas de MT - DMA-C67-010/N.



- EDP. (2010a). Condutores nus para linhas aéreas—Cabos de alumínio com alma de aço—DMA-C34-120/N.
- EDP. (2010b). Guia Técnico de Terras—1a Parte—Ligações à terra—DRE-C11-040/N.
- EDP. (2013a). Condutores nus para linhas aéreas—Cabos de liga de alumínio—DMA-C34-125/N.
- EDP. (2013b). Dispositivos para proteção da avifauna—DFT-C11-310/N.
- EDP. (2013c). Materiais para proteção de redes—Eléktrodos de terra—DMA-C65-210/N.
- EDP. (2015). Nova Empreitada Contínua EC2015.
- EDP. (2018). Material para Linha Eléctricas—Armações de aço para postes de betão de MT - DMA-C67-620/N.
- EN 50341-1—Overhead electrical lines exceeding AC 1 kV, CENELEC (2012).
- ERSE. (2019). Relatório da Qualidade de Serviço Técnica do Setor Eléctrico.
- Fuchs, R. D. (1979). Transmissão de Energia Eléctrica (2.<sup>a</sup> ed.). Livros Técnicos e Científicos Editora S. A.
- Labegalini, P. R., Labegalini, J. A., Fuchs, R. D., & de Almeida, M. T. (1992). Projetos mecânicos das linhas aéreas de transmissão (2.<sup>a</sup> ed.). Edgard Blucher Ltda.

Madureira, O. (2009). Projecto e construção da linha aérea em média tensão de interligação do parque eólico e a subestação de Pinhal Novo. Instituto Politécnico de Bragança.

Paiva, J. P. S. (2015). Redes de Energia Elétrica: Uma análise sistémica (4.<sup>a</sup> ed.). IST Press.

Portaria n.º 596/2010 de 30 de julho de 2010, Pub. L. No. Diário da República n.º 147/2010, Série I, (2010).

Projecto-Tipo de Linhas Aéreas até 30 kV. (1977).

Sequeira, N. J. F. (2009). Projecto de Linha Aérea de Alta Tensão conforme a norma EN50341-1. Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto.

SOLIDAL. (2001). Solidal—Guia Técnico (7.<sup>a</sup> ed.).

SPEA. (2005). Estudo sobre o Impacto das Linhas Eléctricas de Média e Alta Tensão na Avifauna em Portugal. Sociedade Portuguesa para o Estudo das Aves.

Ventim Neves, M. (2019). Parâmetros de Linhas—Apontamentos da Unidade Curricular de Alta Tensão, Mestrado em Engenharia Electrotécnica e de Computadores, FCT-UNL.

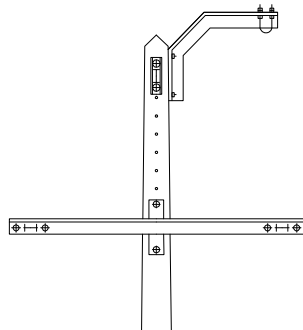
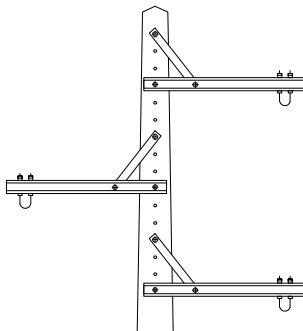
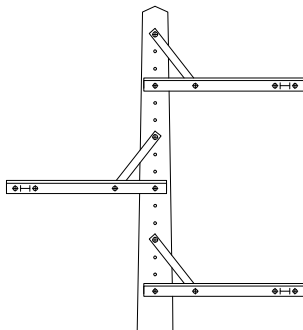
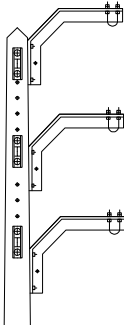
## Anexo A - Características dos condutores normalizados pelo ORD

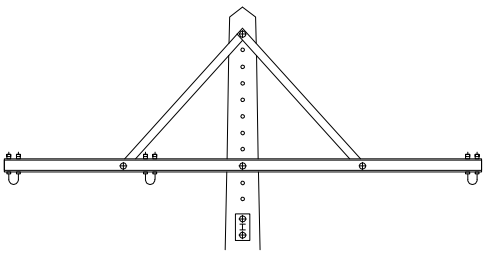
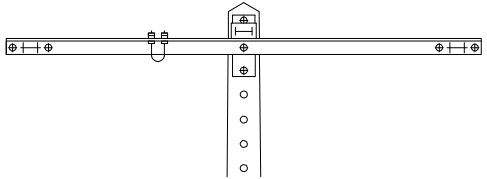
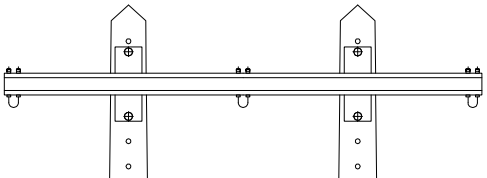
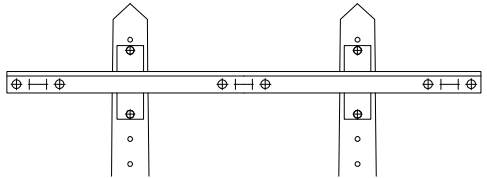
Código	Secção	Diâmetro	Massa por unidade de comprimento	Carga de rotura	Resistência elétrica em corrente contínua
	[mm <sup>2</sup> ]	[mm]	[kg/km]	[kN]	[Ω/km]
34-AL4	34,36	7,5	93,8	11,17	0,9592
55-AL4	54,55	9,5	148,9	17,73	0,6042
117-AL4	116,99	14	321,2	38,02	0,2833
148-AL4	148,07	15,8	406,5	48,12	0,2239
288-AL4	288,35	22,1	794,3	93,71	0,1154

Código	Secção	Diâmetro	Massa por unidade de comprimento	Carga de rotura	Resistência elétrica em corrente contínua
	[mm <sup>2</sup> ]	[mm]	[kg/km]	[kN]	[Ω/km]
26-AL1/4-ST1A	30,62	7,08	106,0	9,34	1,0932
42-AL1/7-ST1A	49,48	9,00	171,4	14,93	0,6765
75-AL1/13-ST1A	87,96	12,00	304,6	25,28	0,3805
80-AL1/47-ST1A	127,24	14,60	588,2	66,46	0,3594
136-AL1/22-ST1A	157,92	16,32	547,1	47,75	0,2124
203-AL1/32-ST1A	235,08	19,89	813,0	68,82	0,1425
264-AL1/62-ST1A	326,12	23,45	1212,8	109,38	0,1093



## Anexo B - Armações normalizadas pelo ORD

Triângulo	TAN 60 TAN 80 TAN 120	
Galhardete	GAL GAL1	
	GAN 80 GAN 120 GAN1 80 GAN1 100 GAN1 120	
Vertical	VAN	

Horizontal	HAL-A2S	
	HRFSC 80 HRFSC 100 HRFSC 120 HRFSC3 100 HRFSC3 120 HRFSC3 140	
Pórtico	PAL	
	PAN	

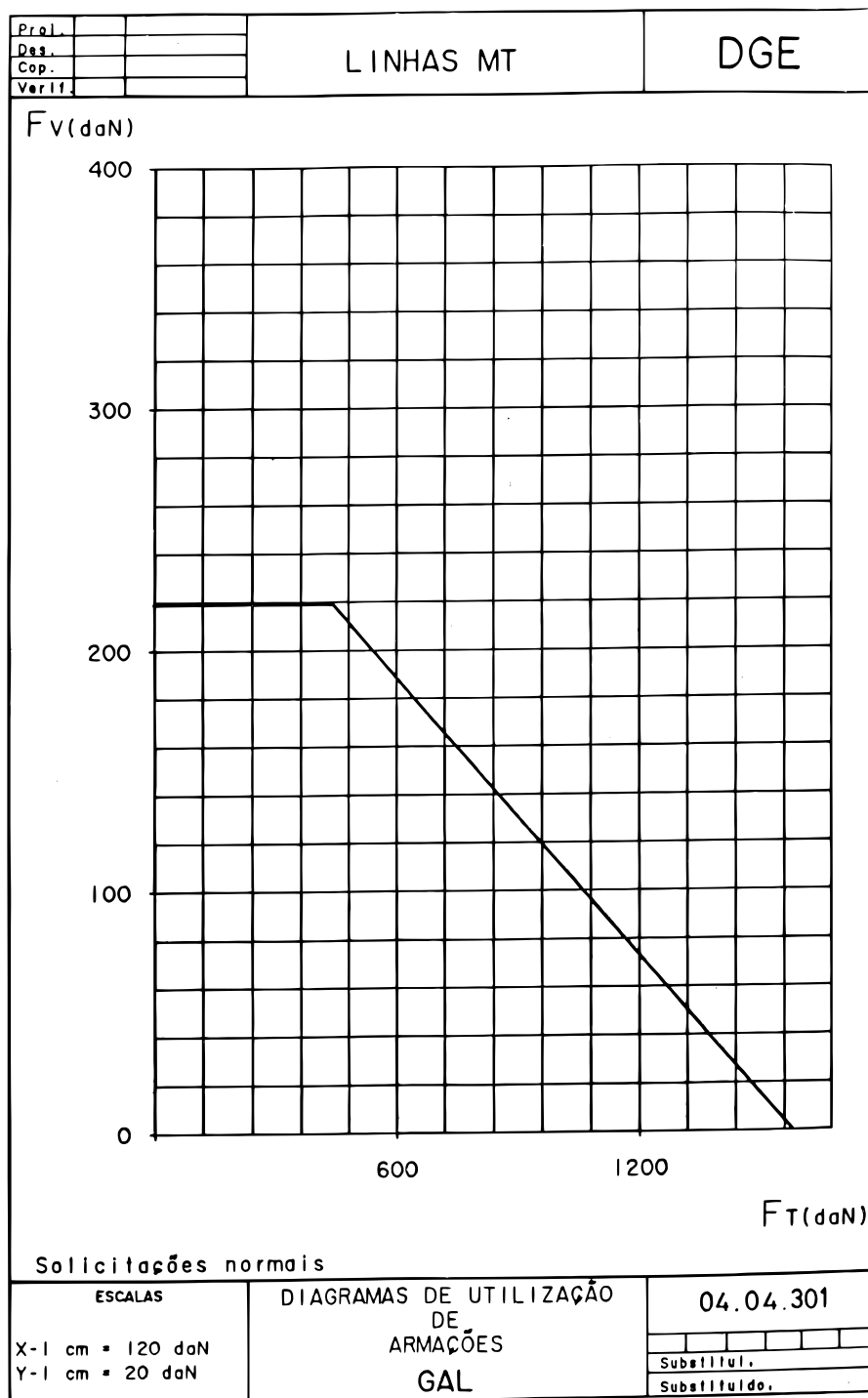
## Anexo C - Apoios normalizados pelo ORD

Solicitação principal, F [daN]	Altura total, H [m]									
	14	16	18	20	22	24	26	28	30	32
400	X	X	X							
600		X	X	X	X					
800	X	X	X	X	X					
1000		X	X	X	X					
1200	X	X	X	X	X	X	X	X		
1400		X			X	X	X	X	X	X
1600	X	X	X		X	X	X	X	X	X
2250	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
2750	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
4000	X	X	X		X	X	X			
5000	X	X	X	X	X	X	X			
7500		X	X	X	X	X	X			
9000		X	X	X	X	X	X			



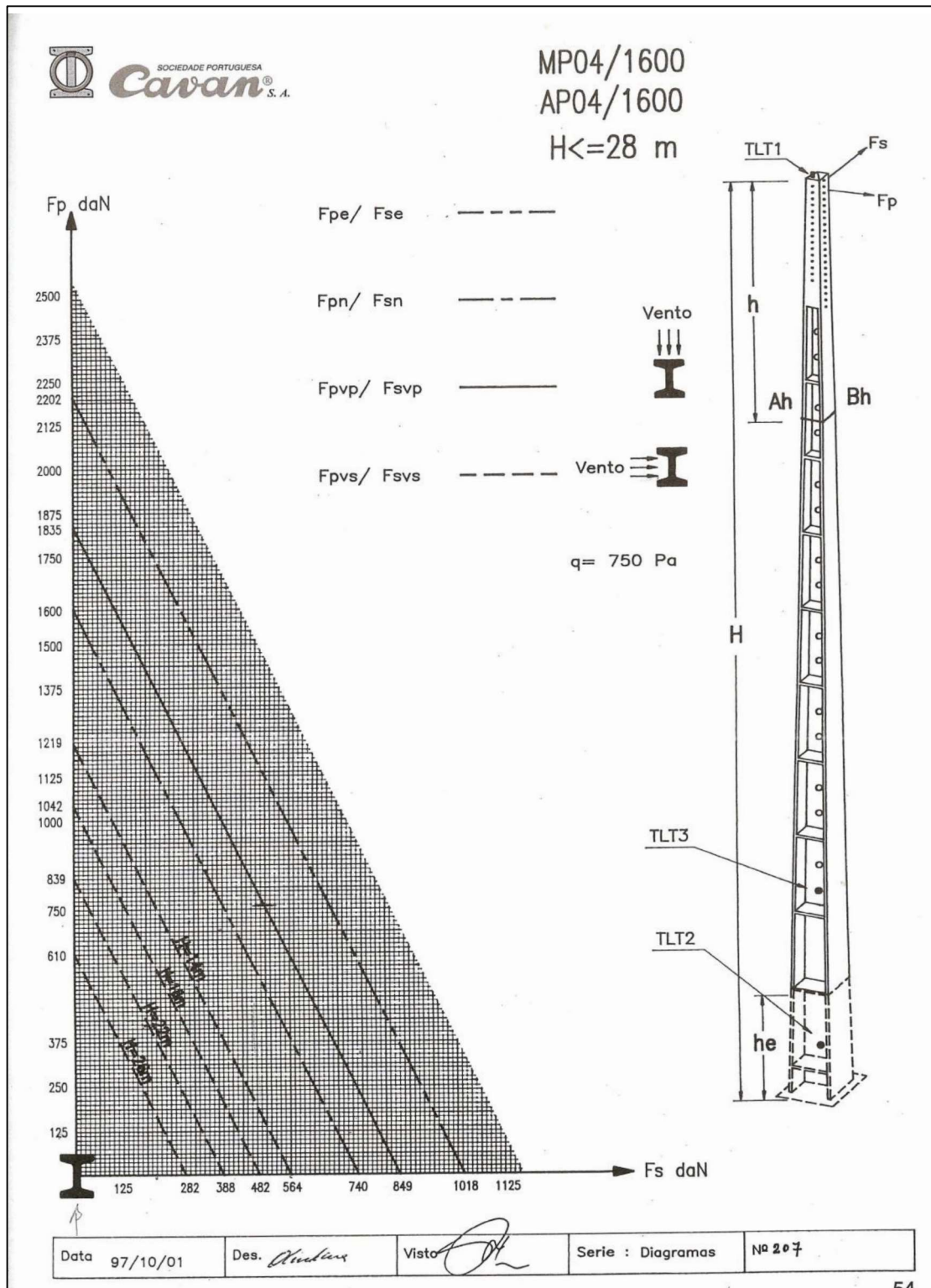


## Anexo D - Diagrama de utilização de armação





## Anexo E - Diagrama de utilização de apoio





## **Anexo F - Projeto segundo o RSLEAT**

**EDP DISTRIBUIÇÃO ENERGIA, S.A.**

**PROJETO DE INSTALAÇÃO ELÉTRICA DE SERVIÇO PÚBLICO**

**MEMÓRIA DESCRITIVA E JUSTIFICATIVA**

**LINHA MISTA A 30kV: 0510 L3 0888**

**FINALIDADE: Melhorar a qualidade de serviço**

**Novembro/2020**

## **1. ENTIDADE REQUERENTE**

EDP Distribuição Energia, S.A.

## **2. INSTALAÇÃO PROJETADA**

Remodelação da linha aérea de MT, a 15kV, com a designação 0510 L3 0888, licenciada pelo processo EPU 12931

## **3. LIMITES DO PROJETO**

Origem: Apoio 17 da linha 0510 L2 0044;

Termino: Apoio 34 da linha 0510 L3 0888;

## **4. OBJETIVO**

Melhorar a qualidade de serviço.

## **5. LOCALIZAÇÃO**

Distrito: Castelo Branco

Concelho: Vila de Rei

Freguesia: Freguesia de Cima e Freguesia de Baixo

## **6. TRAÇADO**

Planta Geral: 04.0099.20

Perfil Longitudinal e Planta Parcelar: 01.0100.20

## **7. CARACTERÍSTICAS**

Troço Aéreo

Comprimento Total.....	7.553m
Neutro da Rede.....	Neutro à terra
Condutores .....	Alumínio-Aço
Secção .....	160mm <sup>2</sup>
Tensão máxima .....	9daN/mm <sup>2</sup>
Cadeias de Isoladores .....	U70BS e U100BLP
Quantidade de isoladores.....	3 por cadeia
Armações .....	Normalizadas, dos tipos indicados no perfil
Apoios .....	Betão, de acordo com o indicado no perfil
Maciços.....	Fundação com maciço de betão ciclópico

## **8. TRAVESSIAS E CRUZAMENTOS**

### **8.1. CRUZAMENTO COM LINHAS AT/MT/BT**

Cruzamento com MT nos vãos: 18-19, 20-21.

Cruzamento com BT nos vãos: 13-14, 15-16.

### **8.2. CRUZAMENTO COM LINHAS DE TELECOMUNICAÇÕES**

Cruzamento com CTT nos vãos: 6-7, 15-16.

### **8.3. TRAVESSIAS**

AE 88 ao PK 888.88, no vão 23-24.

EM ao km 15.600 e EN 138 ao km 102.500, no vão 4-5.

EM 540 nos vãos 13-14, 15-16.

EM no vão 31-32.

### **9. CÁLCULOS**

Segundo EN50341.

### **10. INDICAÇÕES COMPLEMENTARES**

Nada a acrescentar.

### **11. RECURSOS HÍDRICOS**

Ribeira Grande no vão 25-26.

Barragem no vão 32-33.

### **12. IDENTIFICAÇÃO DE ÁREAS COM PROTEÇÃO À AVIFAUNA**

A linha projetada não interfere com áreas com proteção à avifauna.

### **13. IDENTIFICAÇÃO DE ÁREAS INTEGRADAS NA RESERVA AGRÍCOLA NACIONAL (RAN)**

A linha projetada não interfere com a Reserva Agrícola Nacional.

### **14. IDENTIFICAÇÃO DE ÁREAS INTEGRADAS NA RESERVA ECOLÓGICA NACIONAL (REN)**

A linha projetada não interfere a Reserva Ecológica Nacional

### **15. ELEMENTOS DE PROJECTO**

Para além da presente memória descritiva, integram o presente projeto as peças desenhadas 04.0099.20 e 01.0100.20 e 02.101.20.

### **16. AUTORES DO PROJECTO**

Caparica, 28 de outubro de 2019

O Autor do Projeto

Verificado por

O Técnico Responsável

André Pires

---

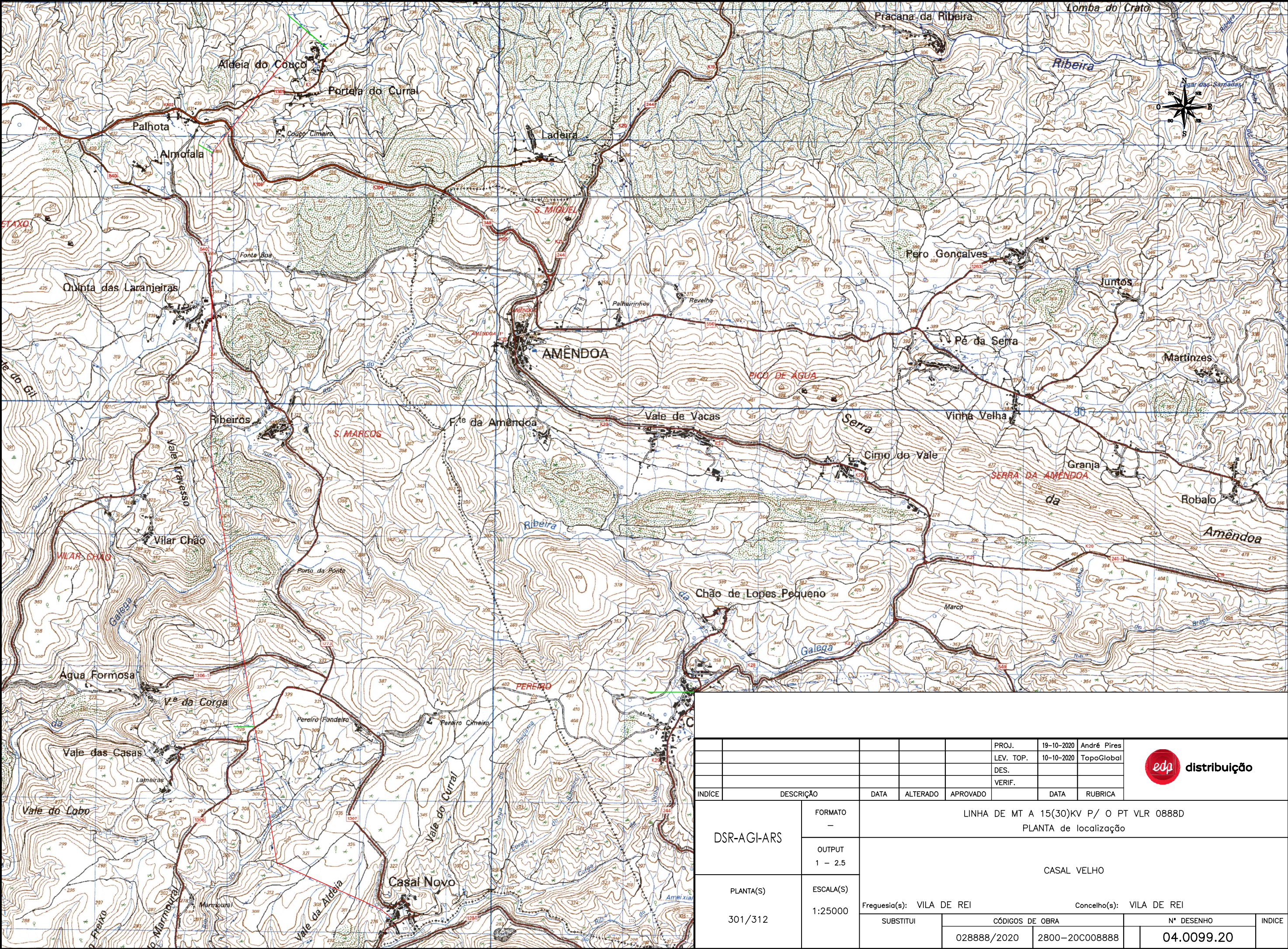




## **Peças Desenhadas**

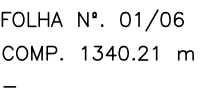
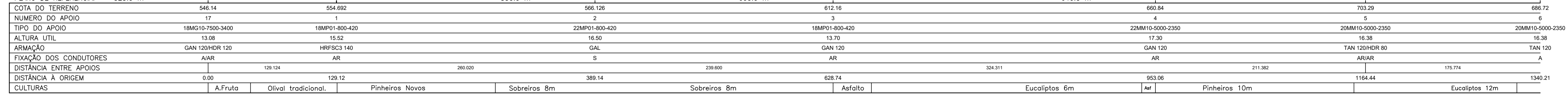





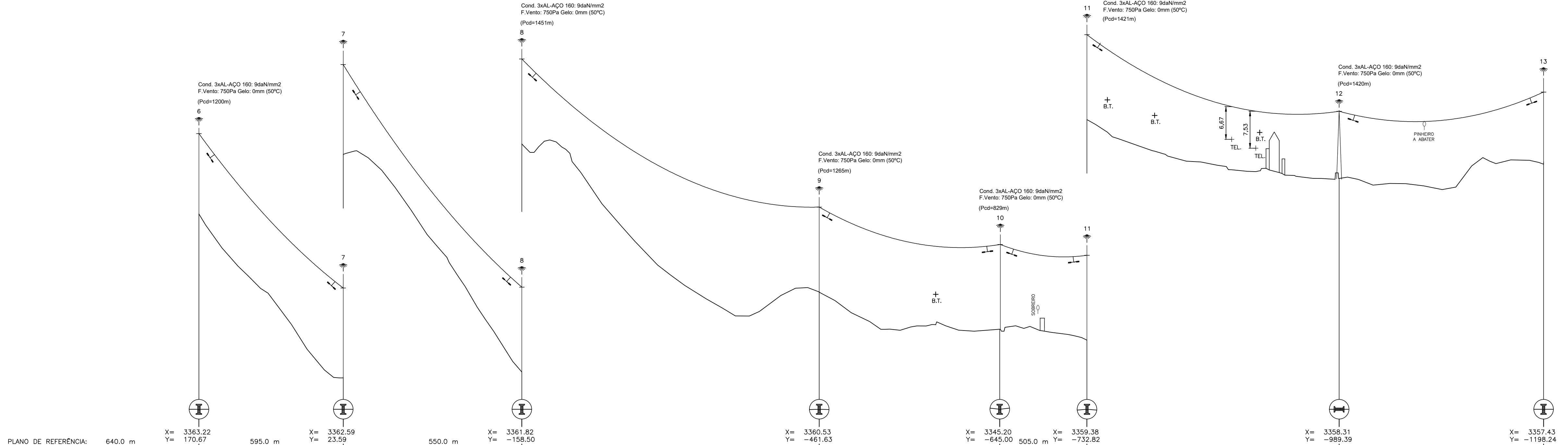


					PROJ.	19-10-2020	André Pires		
					LEV. TOP.	10-10-2020	TopoGlobal		
					DES.				
					VERIF.				
ÍNDICE	DESCRIÇÃO	DATA	ALTERADO	APROVADO		DATA	RUBRICA		
DSR-AGI-ARS	FORMATO —	LINHA DE MT A 15(30)KV P/ O PT VLR 0888D PLANTA de localização							
	OUTPUT 1 — 2.5	CASAL VELHO							
PLANTA(S)  301/312	ESCALA(S)  1:25000	Freguesia(s): VILA DE REI Concelho(s): VILA DE REI							
		SUBSTITUI	CÓDIGOS DE OBRA				N° DESENHO		ÍNDICE
			028888/2020	2800—20C008888		04.0099.20			

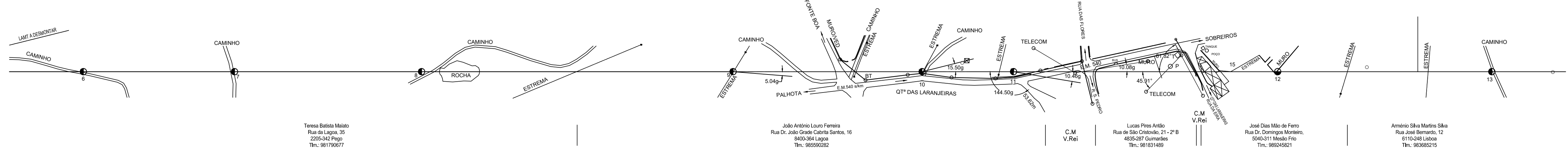




					PROJ.	19-10-2019	André Pires	
					LEV. TOP.	10-10-2019	TopoGlobal	
					DES.			
					VERIF.			
EDP	DESCRIÇÃO	DATA	ALTERADO	APROVADO		DATA	RUBRICA	
DSR-AGI-ARS	FORMATO —	LINHA DE MT A 15(30)KV P/ O PT VLR 0888D PERFIL E PLANTA						
	OUTPUT 1 – 2.5	CASAL VELHO						
PLANTA(S)	ESCALA(S)	Freguesia(s): FREGUESIA DE CIMA E FREGUESIA DE BAIXO      Concelho(s): VILA DE REI						
301/312	V=1:500 H=1:2500	SUBSTITUI	CÓDIGOS DE OBRA				Nº DESENHO	INDICE
			000888/2020	2800—20C008888		01.0100.20		



PLANO DE REFERÊNCIA:	640.0 m	X= 3363.22 Y= 170.67	595.0 m	X= 3362.59 Y= 23.59	550.0 m	X= 3361.82 Y= -158.50	X= 3360.53 Y= -461.63	X= 3345.20 Y= -645.00	505.0 m	X= 3359.38 Y= -732.82	X= 3358.31 Y= -989.39	X= 3357.43 Y= -1198.24
COTA DO TERRENO	686.72	653.752	608.956	578.76	571.16	568.94	560.38	557.05	560.38	560.38	560.38	560.38
NUMERO DO APOIO	6	7	8	9	10	11	12	13	12	11	10	9
TIPO DO APOIO	20MM10-5000-2350	24MP02-1200-560	22MP01-800-420	22MP02-1000-520	22MP03-1400-650	22MP02-1200-560	16MM10-5000-2350	20MP00-600-320	20MP00-600-320	20MP00-600-320	20MP00-600-320	20MP00-600-320
ALTURA UTIL	16.38	16.30	16.50	17.30	17.30	17.30	14.70	14.70	14.70	14.70	14.70	14.70
ARMAÇÃO	TAN 120	GAL	GAN	GAN 120	GAN 120	GAN 120	HRFSC3 140	GAL	GAL	GAL	GAL	GAL
FIXAÇÃO DOS CONDUTORES	A	S	A	AR	AR	AR	AR	S	S	S	S	S
DISTÂNCIA ENTRE APOIOS	147.075	182.092	303.141	184.011	88.955	257.000	208.426	2710.91	2710.91	2710.91	2710.91	2710.91
DISTÂNCIA À ORIGEM	1340.21	1487.29	1669.38	1972.52	2157.15	2245.49	2502.06	2710.91	2710.91	2710.91	2710.91	2710.91
CULTURAS		Pinhal 12m		Sobreiros 12m		Sobreiros 12m	Asfalto	Pasto seco	Pinhal 14m	Olival intensivo		



Teresa Batista Meloato  
Rua da Lagoa, 35  
2205-342 Pego  
Tlm.: 981790677

João António Louro Ferreira  
Rua Dr. João Grato Cabrita Santos, 16  
8400-364 Lagoa  
Tlm.: 985590282

C.M  
V.Rei

Lucas Pires Antão  
Rua de São Cristóvão, 21 - 2º B  
4835-287 Guimarães  
Tlm.: 981831489

C.M  
V.Rei

José Dias Mão de Ferro  
Rua Dr. Domingos Monteiro,  
5040-311 Mesão Frio  
Tlm.: 989245821

Armenio Silva Martins Silva  
Rua José Bernardo, 12  
6110-248 Lisboa  
Tlm.: 983685215

CONDUTOR: LXHIOZ1(cbe) 240  
CONDUTOR: AL-AÇO 160mm2  
T.max: 9daN/mm2

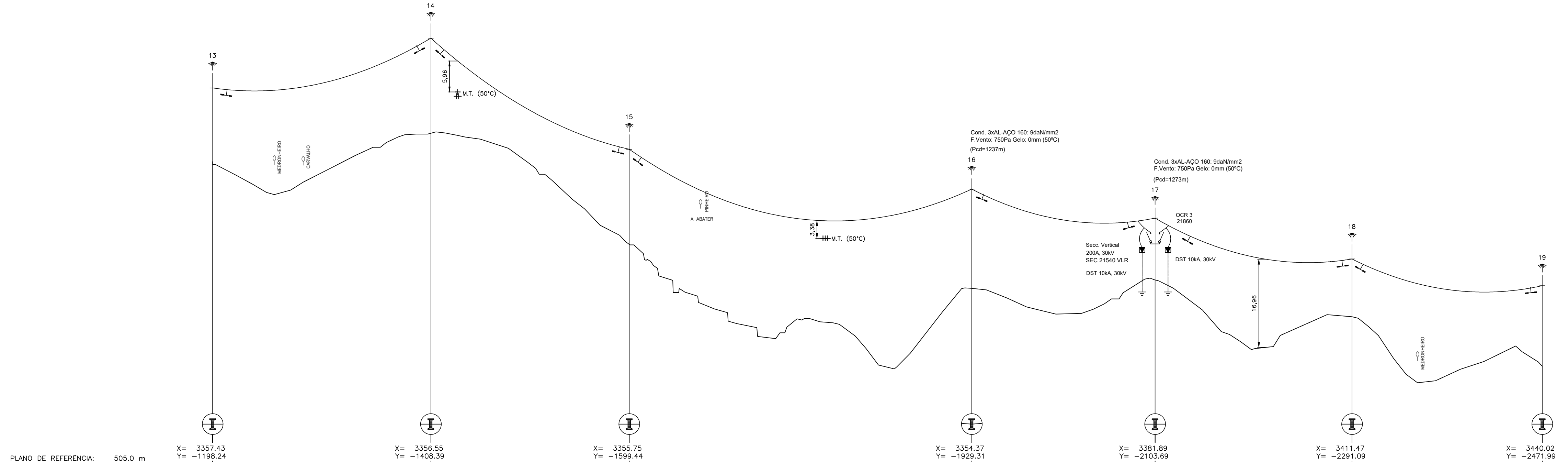
N.º DA LINHA  
0510 L3 0888

Dispositivos dissuasores de nidificação:

- ↑ - Seta simétrica
- ↑ - Seta assimétrica
- ☼ - Guarda chuva
- — — Amortecedor

FOLHA N.º. 02/06  
COMP. 1370.70 m  
-

					PROJ.	19-10-2019	André Pires	
					LEV. TOP.	10-10-2019	TopoGlobal	
					DES.			
					VERIF.			
ÍNDICE	DESCRIÇÃO	DATA	ALTERADO	APROVADO	DATA	RUBRICA		
DSR-AGI-ARS	FORMATO -	LINHA DE MT A 15(30)KV P/ O PT VLR 0888D PERFIL E PLANTA						
	OUTPUT 1 - 2.5	CASAL VELHO						
PLANTA(S)	ESCALA(S) V=1:500 H=1:2500	Freguesia(s): FREGUESIA DE CIMA E FREGUESIA DE BAIXO Concelho(s): VILA DE REI						
301/312		SUBSTITUI	CÓDIGOS DE OBRA		N.º DESENHO		ÍNDICE	
			000888/2020		2800-20C008888		01.0100.20	



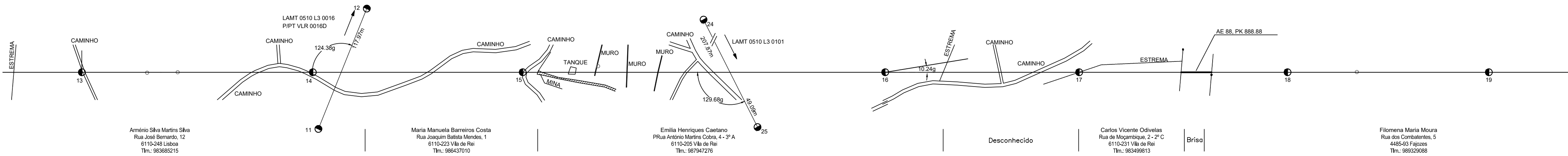
PLANO DE REFERÊNCIA:	505.0 m	X= 3357.43 Y= -1198.24	X= 3356.55 Y= -1408.39	X= 3355.75 Y= -1599.44	X= 3354.37 Y= -1929.31	X= 3381.89 Y= -2103.69	X= 3411.47 Y= -2291.09	X= 3440.02 Y= -2471.99
COTA DO TERRENO	560.38	566.11	546.2	535.99	537.60	530.60	521.00	
NUMERO DO APOIO	13	14	15	16	17	18	19	
TIPO DO APOIO	20MP00-600-320	24MP02-1200-560	24MP02-1200-560	24MP03-1400-650	16MP01-800-420	16MP00-600-320	20MP01-800-420	
ALTURA UTIL	14.70	18.30	18.30	19.10	11.10	11.10	15.50	
ARMAÇÃO	GAL	GAL	GAL	GAN 120	GAN 120	GAL	GAN 120	
FIXAÇÃO DOS CONDUTORES	S	SR	SR	AR	AR	SR+HA1	AR	
DISTÂNCIA ENTRE APOIOS	210.150	191.058	329.861	176.536	189.720	183.144		
DISTÂNCIA À ORIGEM	2710.91	2921.06	3112.12	3441.98	3618.52	3808.24	3991.38	
CULTURAS	Olival intensivo		Pinhal 8m	Mato rasteiro	Pinhal 12m	Pinhal 16m	Autoestrada	Pinhal 8m

CONDUTOR: LXHIOZ1(cbe) 240  
CONDUTOR: AL-AÇO 160mm2  
T.max: 9daN/mm2

N.º DA LINHA  
0510 L3 0888

- Dispositivos dissuasores de nidificação:
- ↑ - Seta simétrica
  - ↑ - Seta assimétrica
  - ☼ - Guarda chuva
  - |— - Amortecedor

FOLHA N°. 03/06  
COMP. 1280.47 m  
—



Arménio Silva Martins Silva  
Rua José Bernardo, 12  
6110-248 Lisboa  
Tlm.: 983685215

Maria Manuela Barreiros Costa  
Rua Joaquim Salgado Mendes, 1  
6110-223 Vila de Rei  
Tlm.: 986437010

Emília Henriques Caetano  
PRua António Martins Cobra, 4 - 3ª A  
6110-205 Vila de Rei  
Tlm.: 987947276

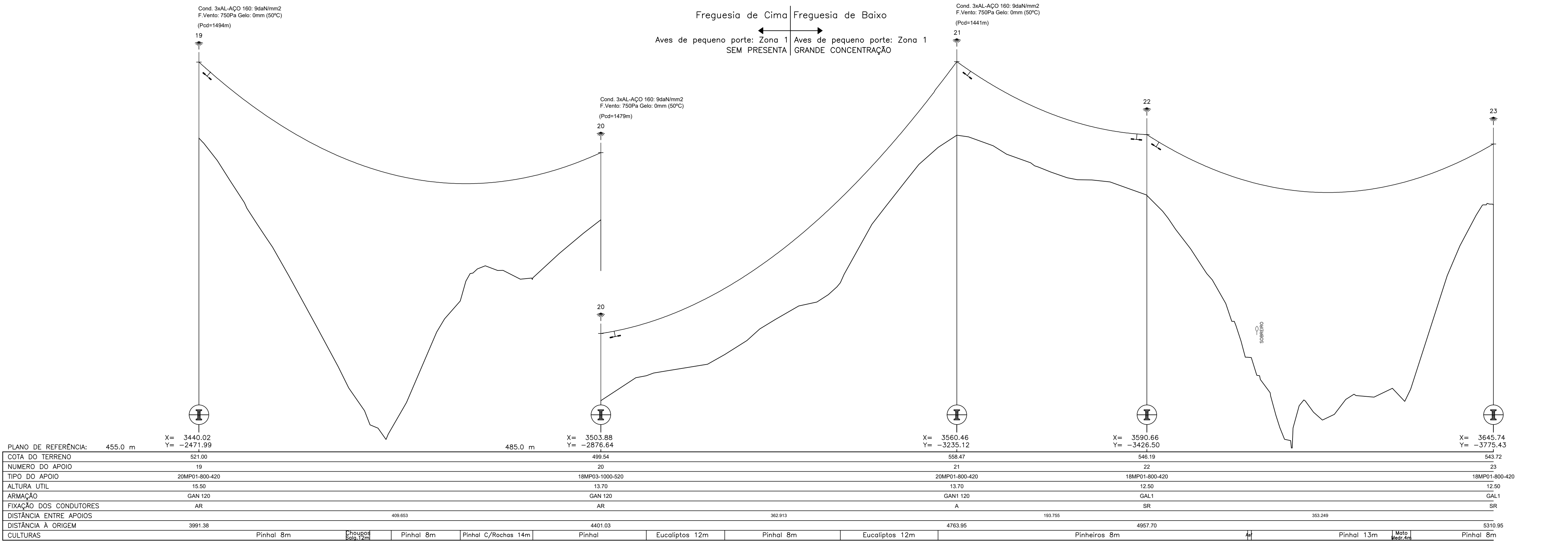
Desconhecido

Carlos Vicente Odivelas  
Rua de Moçambique, 2 - 2ª C  
6110-231 Vila de Rei  
Tlm.: 98349813

Briso

Filomena Maria Moura  
Rua dos Combatentes, 5  
4485-933 Fajozos  
Tlm.: 989329088

					PROJ.	19-10-2019	André Pires		
					LEV. TOP.	10-10-2019	TopoGlobal		
					DES.				
					VERIF.				
ÍNDICE	DESCRIÇÃO		DATA	ALTERADO	APROVADO		DATA	RUBRICA	
DSR-AGI-ARS	FORMATO —		LINHA DE MT A 15(30)KV P/ O PT VLR 0888D PERFIL E PLANTA						
	OUTPUT 1 — 2,5		CASAL VELHO						
PLANTA(S)	ESCALA(S)		Freguesia(s): FREGUESIA DE CIMA E FREGUESIA DE BAIXO      Concelho(s): VILA DE REI						
301/312	V=1:500 H=1:2500		SUBSTITUI	CÓDIGOS DE OBRA			Nº DESENHO		ÍNDICE
				000888/2020	2800-20C008888		01.0100.20		



CONDUTOR: LXHIOZ1(cbe) 240  
CONDUTOR: AL-AÇO 160mm2  
T.max: 9daN/mm2

N.º DA LINHA  
0510 L3 0888

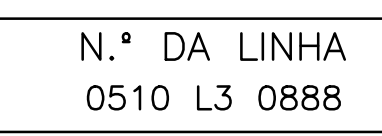
FOLHA N.º. 04/06  
COMP. 1319.57 m  
-

					PROJ.	19-10-2019	André Pires	
					LEV. TOP.	10-10-2019	TopoGlobal	
					DES.			
					VERIF.			
ÍNDICE	DESCRIÇÃO	DATA	ALTERADO	APROVADO	VERIF.	DATA	RUBRICA	
DSR-AGI-ARS	FORMATO - OUTPUT 1 - 2.5	LINHA DE MT A 15(30)KV P/ O PT VLR 0888D PERFIL E PLANTA						
PLANTA(S)	ESCALA(S) V=1:500 H=1:2500	Freguesia(s): FREGUESIA DE CIMA E FREGUESIA DE BAIXO Concelho(s): VILA DE REI						
301/312		SUBSTITUI	CÓDIGOS DE OBRA		N.º DESENHO		ÍNDICE	
			000888/2020	2800-20C008888		01.0100.20		


Filomena Maria Moura  
Rua dos Combatentes, 5  
4485-93 Façozes  
Tlm.: 989329088

Henrique Maior Luis  
Rua Prof. Dr. Antão Cavaco Silva, 14  
6110-248 Vila de Rei  
Tlm.: 985994792

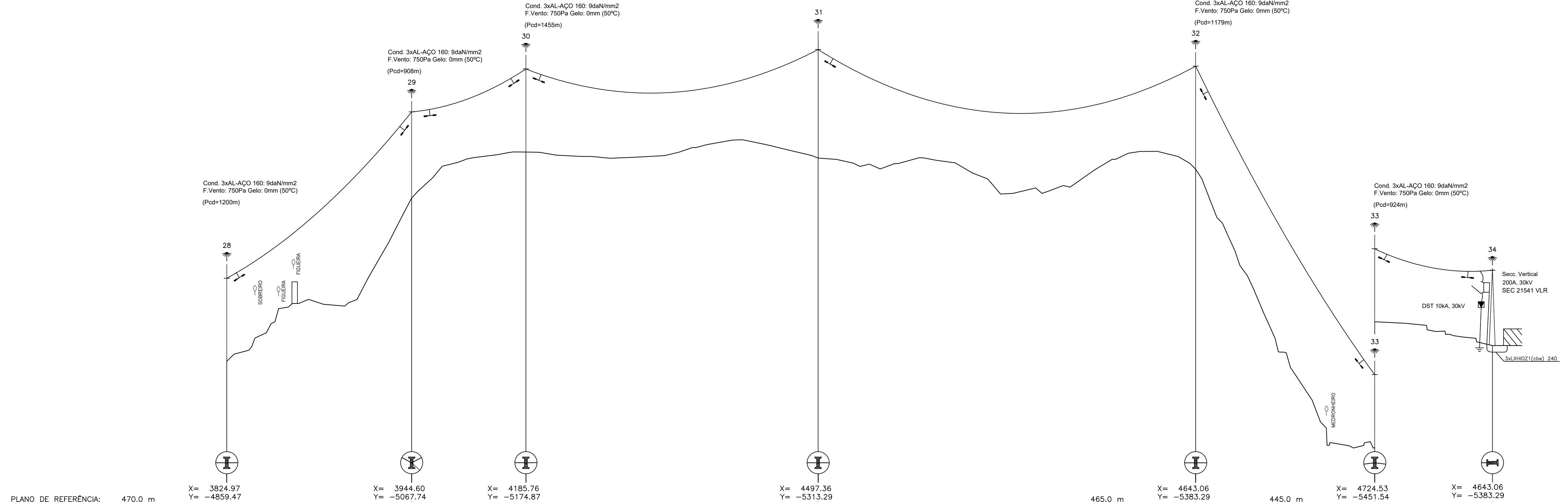
José Luis Moura Antunes  
Quinta das Pegas  
2640-772 Mafra  
Tlm.: 980223895



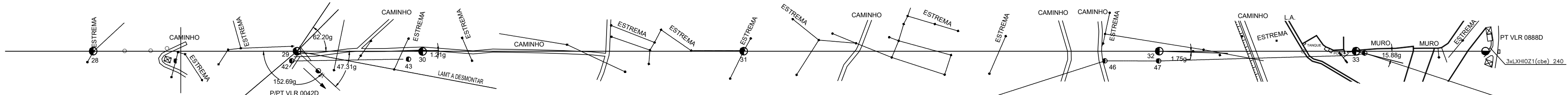
- ↑ - Seta simétrica
- ↗ - Seta assimétrica
- ☂ - Guarda chuva
- |— - Amortecedor

					PROJ.	19-10-2019	André Pires	
					LEV. TOP.	10-10-2019	TopoGlobal	
					DES.			
					VERIF.			
ÍNDICE	DESCRIÇÃO	DATA	ALTERADO	APROVADO	DATA	RUBRICA		
DSR-AGI-ARS	FORMATO -	LINHA DE MT A 15(30)KV P/ O PT VLR 0888D PERFIL E PLANTA						
	OUTPUT 1 - 2.5	CASAL VELHO						
PLANTA(S)  301/312	ESCALA(S)  V=1:500 H=1:2500	Freguesia(s): FREGUESIA DE CIMA E FREGUESIA DE BAIXO      Concelho(s): VILA DE REI						
		SUBSTITUI	CÓDIGOS DE OBRA			N° DESENHO		ÍNDICE
			000888/2020	2800-20C008888		01.0100.20		





PLANO DE REFERÊNCIA:	470.0 m	X= 3824.97 Y= -4859.47	X= 3944.60 Y= -5067.74	X= 4185.76 Y= -5174.87	X= 4497.36 Y= -5313.29	465.0 m	X= 4643.06 Y= -5383.29	445.0 m	X= 4724.53 Y= -5451.54	X= 4643.06 Y= -5383.29
COTA DO TERRENO	489.35	522.87	531.20	530.11	528.11		477.80		473.52	
NUMERO DO APOIO	28	29	30	31	32		33		34	
TIPO DO APOIO	20MP00-600-320	20MM10-5000-2350	20MP00-600-320	26MP02-1200-560	24MP04-1200-560		18MP04-1600-740		16MG10-7500-3400	
ALTURA UTIL	15.00	15.56	19.70	18.60	13.20		12.40			
ARMAÇÃO	GAN1 120	VAN/VDR	GAN1 120	GAL1	GAN1 120		GAN1 120		HFL 120	
FIXAÇÃO DOS CONDUTORES	A	A/A	A	S	A		A		AR	
DISTÂNCIA ENTRE APOIOS		166.949	103.129	263.874	340.963		161.643		106.279	
DISTÂNCIA À ORIGEM	6409.98	6576.93	6680.06	6943.94	7284.90		7446.54		7552.59	
CULTURAS	Sobreiros 6m/Medronheiros 4m	Oliveiras 4m	Pinhal 8m	Eucaliptos	Pinhal 8m	Pinh.Euc.8m Pinha	Pinhal 8m/Eucaliptos	Eucaliptos 14m	Cultivo C/Oliveiras/Árv.Fruto 4.5m	Cultivo



Bruno Marques Silva e Silva  
Rua da Moagem, 3  
6110-223 Vila de Rei  
Tlm.: 986519279

Manuel Justino Silva  
Rua da Moagem, 3  
7900-035 Alfindão  
Tlm.: 988694043

CONDUTOR: LXHIOZ1(cbe) 240  
CONDUTOR: AL-AÇO 160mm2  
T.max: 9daN/mm2

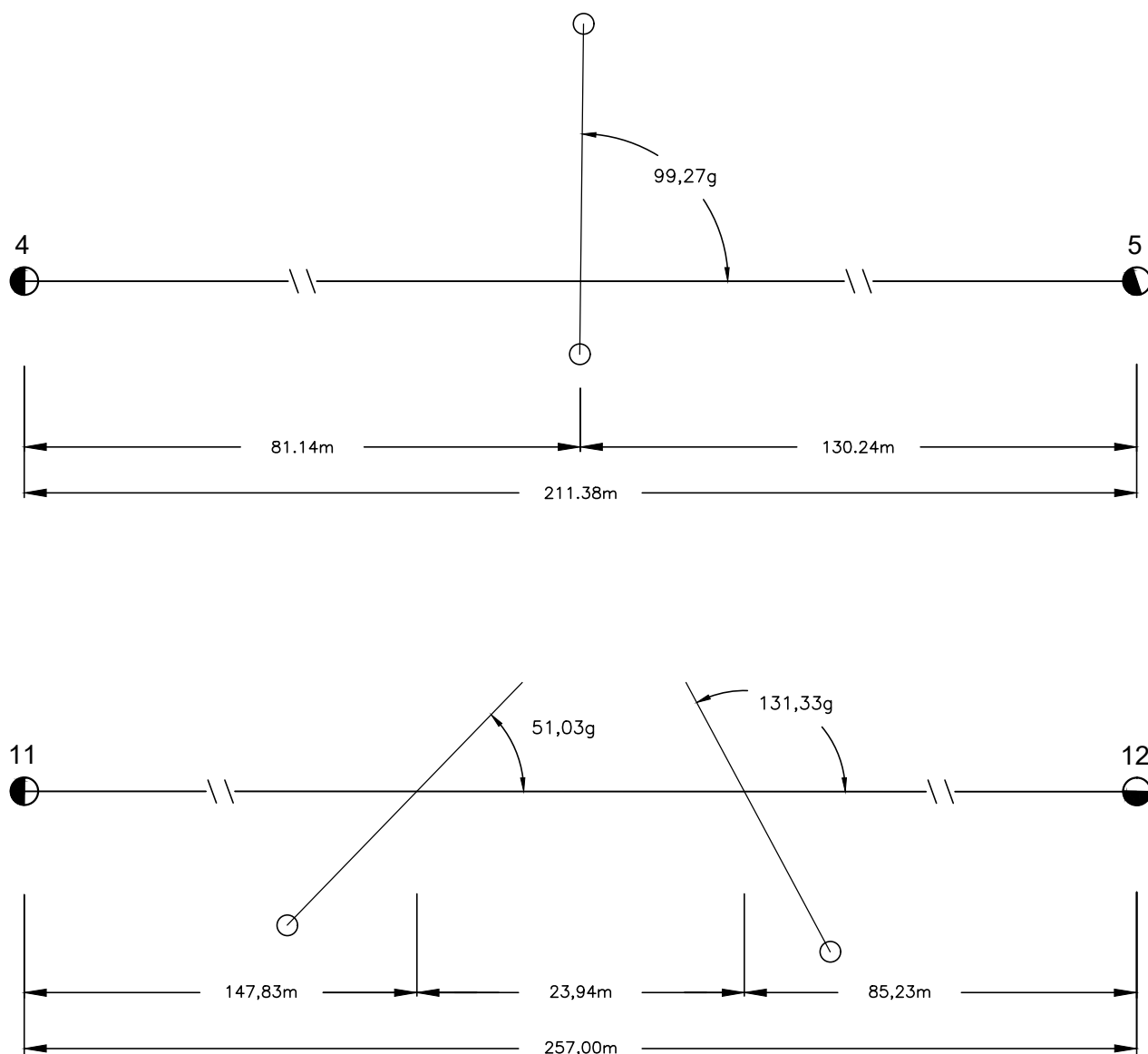
N.º DA LINHA  
0510 L3 0888


Dispositivos dissuasores de nidificação:

- ↑ - Seta simétrica
- ↑ - Seta assimétrica
- ☂ - Guarda chuva
- |— - Amortecedor

FOLHA N.º. 06/06  
COMP. 1142.61 m  
—

					PROJ.	19-10-2019	André Pires	
					LEV. TOP.	10-10-2019	TopoGlobal	
					DES.			
					VERIF.			
ÍNDICE	DESCRIÇÃO	DATA	ALTERADO	APROVADO		DATA	RUBRICA	
DSR-AGI-ARS	FORMATO —	LINHA DE MT A 15(30)KV P/ O PT VLR 0888D PERFIL E PLANTA						
	OUTPUT 1 - 2.5	CASAL VELHO						
PLANTA(S)  301/312	ESCALA(S)  V= 1:500 H= 1:2500	Freguesia(s): FREGUESIA DE CIMA E FREGUESIA DE BAIXO				Concelho(s): VILA DE REI		
		SUBSTITUI	CÓDIGOS DE OBRA		N.º DESENHO	ÍNDICE		
			000888/2020	2800-20C008888			01.0100.20	



					PROJ.	19-10-2019	André Pires	
					LEV. TOP.	11-12-2019	TopoGlobal	
					DES.			
					VERIF.			
ÍNDICE	DESCRIÇÃO	DATA	ALTERADO	APROVADO		DATA	RUBRICA	
DSR-AGI-ARS	FORMATO A4	LINHA DE MT A 15(30)kV P/ O PT VLR 0888D						
	OUTPUT 1 - 2.5	CRUZAMENTO COM LINHAS DE TELECOMUNICAÇÕES						
PLANTA(S)  301/312	ESCALA(S)  1:500	CASAL VELHO						
		Freguesia(s): FREGUESIA DE CIMA E FREGUESIA DE BAIXO					Concelho(s): VILA DE REI	
		SUBSTITUI	CÓDIGOS DE OBRA			N° DESENHO		ÍNDICE
						02.0101.20		

## Anexo G - Distribuição dos apoios no projeto segundo o RSLEAT

N. Apoio	Cota [m]	Função	Ângulo [gr.]	Altura [m]	Armação	Vão a Jusante [m]	Vão a Montante [m]	Movimento dos isoladores [°]
17	546,14	FL	0	18	HRFSC 120	129,12	0	0,00
1	554,692	AN	0	18	HRFSC3 140	260,02	129,12	0,00
2	566,126	AL	0	22	GAL	239,6	260,02	34,29
3	612,16	AN	0	18	GAN 120	324,32	239,6	0,00
4	660,84	AN	0	22	GAN 120	211,38	324,32	0,00
5	703,29	AN	42,05	20	TAN 120	175,77	211,38	0,00
6	686,72	AN	0	20	TAN 120	147,08	175,77	0,00
7	653,752	AL	0	24	GAL	182,09	147,08	34,25
8	608,956	AN	0	22	GAN 120	303,14	182,09	0,00
9	578,76	AN	5,04	22	GAN 120	184,63	303,14	0,00
10	571,16	AN	15,5	22	GAN 120	88,34	184,63	0,00
11	568,94	AN	10,46	22	GAN 120	256,57	88,34	0,00
12	557,05	RF	0	16	HRFSC3 140	208,85	256,57	0,00
13	560,38	AL	0	20	GAL	210,15	208,85	34,27
14	566,11	AL	0	24	GAL	191,06	210,15	34,27
15	546,2	AL	0	24	GAL	329,86	191,06	34,29
16	535,99	AN	10,24	24	GAN 120	176,54	329,86	0,00
17	537,6	AN	0	16	GAN 120	189,72	176,54	34,26
18	530,6	AL	0	16	GAL	183,14	189,72	34,26
19	521	AN	0	20	GAN 120	409,65	183,14	0,00
20	499,54	AN	0	18	PAN	362,92	409,65	0,00
21	573,12	AN	0	20	GAN	193,75	362,92	0,00
22	547,3	AL	0	18	GAL	353,25	193,75	34,30
23	543,72	AL	0	18	GAL	222,15	353,25	34,30
24	546,95	RF	4,94	16	HRFSC3 140	100,77	222,15	0,00
25	534,87	AN	4,93	18	GAN 120	252,06	100,77	0,00
26	527,59	AL	0	22	GAL	206,01	252,06	34,28
27	516,6	AL	0	16	GAL	318,04	206,01	34,29
28	489,35	AN	0	20	GAN 120	166,95	318,04	0,00
29	522,87	AN	62,2	20	GAN 120	103,13	166,95	0,00
30	531,2	AN	1,21	20	GAN 120	263,88	103,13	0,00
31	530,11	AL	0	26	GAL	340,96	263,88	34,30
32	528,11	AN	1,75	24	GAN 120	161,64	340,96	0,00
33	477,8	AN	15,88	18	GAN 120	106,28	161,64	0,00

N. Apoio	Cota [m]	Função	Ângulo [gr.]	Altura [m]	Armação	Vão a Jusante [m]	Vão a Montante [m]	Movimento dos isoladores [°]
34	473,52	FL	0	16	HRFSC 120	0	106,28	0,00

## Anexo H - Cálculo mecânico dos apoios no projeto segundo o RSLEAT

N. Apoio	Hipótese 1 [daN]		Hipótese 2 [daN]		Torção [daN·m]	Apoio sem Coeficiente de Segurança
	$\Sigma F_y$	$\Sigma F_x$	$\Sigma F_y$	$\Sigma F_x$		
17	182,5	4263,8	0,0	0,0	1961,4	18-MG10-7500-3400
1	489,2	0,0	0,0	85,7	0,0	18-MP01-800-420
2	590,6	0,0	0,0	110,1	0,0	22-MP01-800-420
3	681,7	0,0	0,0	124,2	0,0	18-MP01-800-420
4	650,6	0,0	0,0	118,0	0,0	22-MM10-5000-2350
5	3207,6	0,0	0,0	76,3	0,0	20-MM10-5000-2350
6	416,2	0,0	0,0	71,1	0,0	20-MM10-5000-2350
7	402,9	0,0	0,0	72,5	0,0	24-MP02-1200-560
8	574,8	0,0	0,0	106,9	0,0	22-MP01-800-420
9	934,5	0,0	0,0	107,3	0,0	22-MP02-1000-520
10	1392,3	0,0	0,0	59,3	0,0	22-MP03-1400-650
11	1137,7	0,0	0,0	75,5	0,0	22-MP02-1200-560
12	573,2	0,0	0,0	2842,6	1961,4	16-MM10-5000-2350
13	501,8	0,0	0,0	92,3	0,0	20-MP00-600-320
14	482,2	0,0	0,0	88,4	0,0	24-MP02-1200-560
15	614,1	0,0	0,0	114,8	0,0	24-MP02-1200-560
16	1299,8	0,0	0,0	110,8	0,0	24-MP03-1400-650
17	443,7	0,0	0,0	80,7	0,0	16-MP01-800-420
18	451,0	0,0	0,0	82,1	0,0	16-MP00-600-320
19	713,5	0,0	0,0	130,6	0,0	20-MP01-800-420
20	911,6	0,0	0,0	170,2	0,0	18-MP02-1000-520
21	673,7	0,0	0,0	122,6	0,0	20-MP01-800-420
22	642,8	0,0	0,0	120,5	0,0	18-MP01-800-420
23	674,1	0,0	0,0	126,8	0,0	18-MP01-800-420
24	746,5	0,0	0,0	2842,6	1961,4	16-MM10-5000-2350
25	794,8	0,0	0,0	80,8	0,0	18-MP01-800-420
26	542,7	0,0	0,0	100,5	0,0	22-MP01-800-420
27	599,2	0,0	0,0	111,8	0,0	16-MP00-600-320
28	594,8	0,0	0,0	106,9	0,0	20-MP00-600-320
29	4294,7	0,0	0,0	46,4	0,0	20-MM10-5000-2350
30	545,8	0,0	0,0	80,9	0,0	20-MP00-600-320
31	706,5	0,0	0,0	133,3	0,0	26-MP02-1200-560
32	731,3	0,0	0,0	110,7	0,0	24-MP02-1200-560
33	1411,9	0,0	0,0	58,1	0,0	18-MP04-1600-740

N. Apoio	Hipótese 1 [daN]		Hipótese 2 [daN]		Torção [daN·m]	Apoio sem Coeficiente de Segurança
	$\Sigma F_y$	$\Sigma F_x$	$\Sigma F_y$	$\Sigma F_x$		
34	157,3	4263,8	0,0	0,0	1961,4	16-MG10-7500-3400

## Anexo I Orçamento do projeto segundo o RSLEAT

Nº	Descrição dos trabalhos	Quant.	Unid.	MO [€]	Mat. [€]	Valor Parcial [€]
1.1	Piquetagem da linha	7,553	km	223,45	0,00	1 687,72
2.1	Execução de abertura de acessos para implementação de apoio	7,553	km	204,25	0,00	1 542,70
3.1	Abertura de covas em terreno C7	172,23	m3	67,19	0,00	11 572,13
3.2	Fornecimento e execução do maciço ciclópico	167,31	m3	33,10	0,00	5 537,96
3.3	Fornecimento e montagem de poste de betão 16M600	2	un	302,65	526,05	1 657,40
3.4	Fornecimento e montagem de poste de betão 16M800	1	un	302,65	606,36	909,01
3.5	Fornecimento e montagem de poste de betão 16M5000	2	un	440,97	1 469,17	3 820,28
3.6	Fornecimento e montagem de poste de betão 16M7500	1	un	440,97	2 084,55	2 525,52
3.7	Fornecimento e montagem de poste de betão 18M800	5	un	440,97	745,16	5 930,65
3.8	Fornecimento e montagem de poste de betão 18M1000	1	un	440,97	884,57	1 325,54
3.9	Fornecimento e montagem de poste de betão 18M1600	1	un	440,97	1 015,81	1 456,78
3.10	Fornecimento e montagem de poste de betão 20M600	3	un	440,97	783,57	3 673,62
3.11	Fornecimento e montagem de poste de betão 20M800	2	un	440,97	885,67	2 653,28
3.12	Fornecimento e montagem de poste de betão 20M5000	3	un	857,01	2 107,40	8 893,23
3.13	Fornecimento e montagem de poste de betão 22M800	3	un	440,97	1 070,04	4 533,03
3.14	Fornecimento e montagem de poste de betão 22M1000	1	un	440,97	1 268,08	1 709,05
3.15	Fornecimento e montagem de poste de betão 22M1200	1	un	440,97	1 268,08	1 709,05
3.16	Fornecimento e montagem de poste de betão 22M1400	1	un	440,97	1 448,63	1 889,60
3.17	Fornecimento e montagem de poste de betão 22M5000	1	un	857,01	2 207,29	3 064,30
3.18	Fornecimento e montagem de poste de betão 24M1200	4	un	440,97	1 499,27	7 760,96
3.19	Fornecimento e montagem de poste de betão 24M1400	1	un	440,97	1 751,78	2 192,75
3.20	Fornecimento e montagem de poste de betão 26M1200	1	un	440,97	1 844,49	2 285,46
3.21	Fornecimento e montagem de terra de proteção	68	un	6,35	0,00	431,80
4.1	Fornecimento e montagem de dispositivo dissuasor de nidificação, tipo guarda-chuva	34	un	17,29	74,97	3 136,67
5.1	Fornecimento e montagem de armação GAL	7	un	18,70	61,74	563,05

Nº	Descrição dos trabalhos	Quant.	Unid.	MO [€]	Mat. [€]	Valor Parcial [€]
5.2	Fornecimento e montagem de armação GAN120	9	un	99,00	239,29	3 044,57
5.3	Fornecimento e montagem de armação GAL1	5	un	21,78	73,92	478,48
5.4	Fornecimento e montagem de armação GAN1 120	6	un	108,57	271,20	2 278,59
5.5	Fornecimento e montagem de armação HRFSC3 140	5	un	101,37	310,31	2 058,38
5.6	Fornecimento e montagem de armação TAN120	2	un	65,89	166,60	464,98
5.7	Fornecimento e montagem de armação VAN	1	un	20,02	98,09	118,11
6.1	Fornecimento e montagem de cadeia de suspensão (U70BS)	22	un	19,81	53,84	1 620,37
6.2	Fornecimento e montagem de cadeia de amarração (U70BS)	42	un	19,81	49,87	2 926,69
6.3	Fornecimento e montagem de cadeia de suspensão reforçada (U100BLP)	24	un	19,81	70,55	2 168,72
6.4	Fornecimento e montagem de cadeia de amarração reforçada (U100BLP)	96	un	19,81	66,58	8 293,75
7.1	Fornecimento, montagem e regulação de AL/ACO 160 26x2.58/72	22,659	km	1 042,32	1 575,00	59 305,85
<b>Total (custos puros sem IVA):</b>						<b>165 220,01 €</b>



## **Anexo J - Projeto segundo a EN50341**

**EDP DISTRIBUIÇÃO ENERGIA, S.A.**

**PROJETO DE INSTALAÇÃO ELÉTRICA DE SERVIÇO PÚBLICO**

**MEMÓRIA DESCRITIVA E JUSTIFICATIVA**

**LINHA MISTA A 30kV: 0510 L3 0888**

**FINALIDADE: Melhorar a qualidade de serviço**

**Novembro/2020**

## **1. ENTIDADE REQUERENTE**

EDP Distribuição Energia, S.A.

## **2. INSTALAÇÃO PROJETADA**

Remodelação da linha aérea de MT, a 15kV, com a designação 0510 L3 0888, licenciada pelo processo EPU 12931

## **3. LIMITES DO PROJETO**

Origem: Apoio 17 da linha 0510 L2 0044;

Termino: Apoio 34 da linha 0510 L3 0888;

## **4. OBJETIVO**

Melhorar a qualidade de serviço.

## **5. LOCALIZAÇÃO**

Distrito: Castelo Branco

Concelho: Vila de Rei

Freguesia: Freguesia de Cima e Freguesia de Baixo

## **6. TRAÇADO**

Planta Geral: 04.0099.20

Perfil Longitudinal e Planta Parcelar: 01.0100.20

## **7. CARACTERÍSTICAS**

Troço Aéreo

Comprimento Total.....	7.553m
Neutro da Rede.....	Neutro à terra
Condutores .....	Alumínio-Aço
Secção .....	160mm <sup>2</sup>
Tensão máxima .....	9daN/mm <sup>2</sup>
Cadeias de Isoladores .....	U70BS e U100BLP
Quantidade de isoladores.....	3 por cadeia
Armações .....	Normalizadas, dos tipos indicados no perfil
Apoios .....	Betão, de acordo com o indicado no perfil
Maciços .....	Fundação com maciço de betão ciclópico

## **8. TRAVESSIAS E CRUZAMENTOS**

### **8.1. CRUZAMENTO COM LINHAS AT/MT/BT**

Cruzamento com MT nos vãos: 18-19, 20-21.

Cruzamento com BT nos vãos: 13-14, 15-16.

### **8.2. CRUZAMENTO COM LINHAS DE TELECOMUNICAÇÕES**

Cruzamento com CTT nos vãos: 6-7, 15-16.

### **8.3. TRAVESSIAS**

AE 88 ao PK 888.88, no vão 23-24.

EM ao km 15.600 e EN 138 ao km 102.500, no vão 4-5.

EM 540 nos vãos 13-14, 15-16.

EM no vão 31-32.

### **9. CÁLCULOS**

Segundo EN50341.

### **10. INDICAÇÕES COMPLEMENTARES**

Nada a acrescentar.

### **11. RECURSOS HÍDRICOS**

Ribeira Grande no vão 25-26.

Barragem no vão 32-33.

### **12. IDENTIFICAÇÃO DE ÁREAS COM PROTEÇÃO À AVIFAUNA**

A linha projetada não interfere com áreas com proteção à avifauna.

### **13. IDENTIFICAÇÃO DE ÁREAS INTEGRADAS NA RESERVA AGRÍCOLA NACIONAL (RAN)**

A linha projetada não interfere com a Reserva Agrícola Nacional.

### **14. IDENTIFICAÇÃO DE ÁREAS INTEGRADAS NA RESERVA ECOLÓGICA NACIONAL (REN)**

A linha projetada não interfere a Reserva Ecológica Nacional

### **15. ELEMENTOS DE PROJECTO**

Para além da presente memória descritiva, integram o presente projeto as peças desenhadas 04.0099.20 e 01.0100.20 e 02.101.20.

### **16. AUTORES DO PROJECTO**

Caparica, 28 de outubro de 2019

O Autor do Projeto

Verificado por

O Técnico Responsável

André Pires

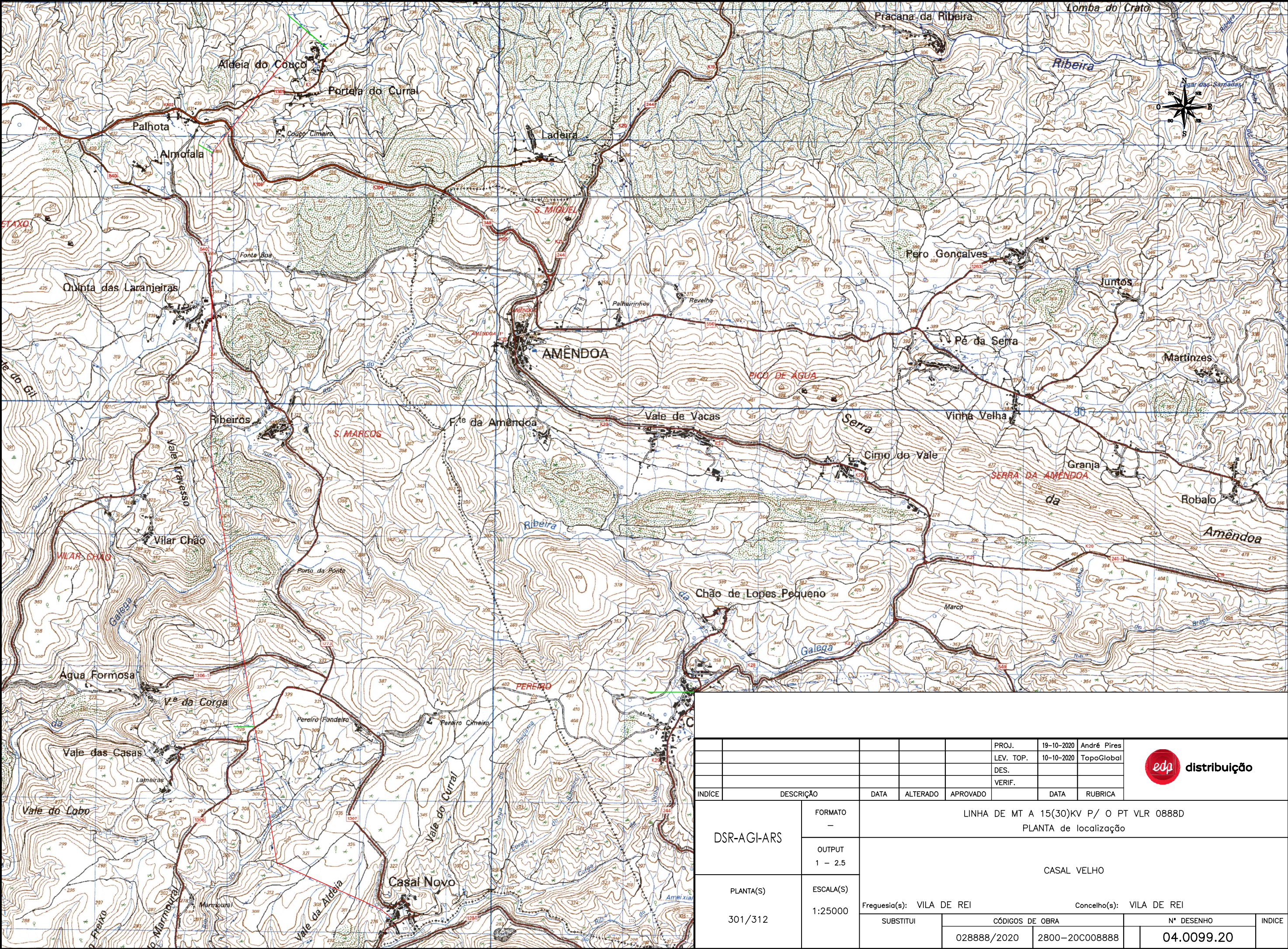
---



## **Peças Desenhadas**

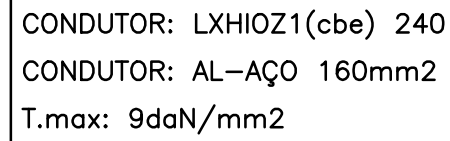
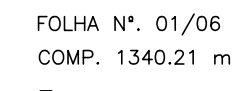






					PROJ.	19-10-2020	André Pires		
					LEV. TOP.	10-10-2020	TopoGlobal		
					DES.				
					VERIF.				
ÍNDICE	DESCRIÇÃO	DATA	ALTERADO	APROVADO		DATA	RUBRICA		
DSR-AGI-ARS	FORMATO —	LINHA DE MT A 15(30)KV P/ O PT VLR 0888D PLANTA de localização							
	OUTPUT 1 — 2.5	CASAL VELHO							
PLANTA(S)  301/312	ESCALA(S)  1:25000	Freguesia(s): VILA DE REI Concelho(s): VILA DE REI							
		SUBSTITUI	CÓDIGOS DE OBRA				N° DESENHO		ÍNDICE
			028888/2020	2800—20C008888		04.0099.20			







N.º DA LINHA  
0510 L3 0888

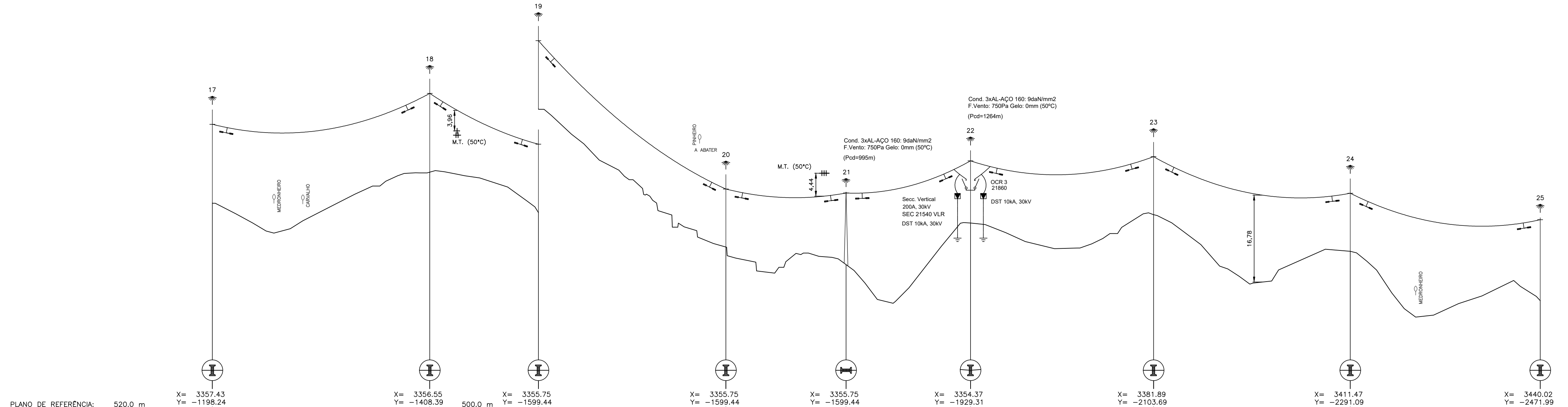
Dispositivos dissuasores de nidificação:

- ↑ – Seta simétrica  
 ↗ – Seta assimétrica  
 ☂ – Guarda chuva  
 ─┬─ – Amortecedor

					PROJ.	19-10-2019	André Pires	
					LEV. TOP.	10-10-2019	TopoGlobal	
					DES.			
					VERIF.			
ÍNDICE	DESCRIÇÃO	DATA	ALTERADO	APROVADO		DATA	RUBRICA	
DSR-AGI-ARS		FORMATO —	LINHA DE MT A 15(30)KV P/ O PT VLR 0888D PERFIL E PLANTA					
		OUTPUT 1 — 2.5	CASAL VELHO					
PLANTA(S)  301/312		ESCALA(S)  V=1:500 H=1:2500	Freguesia(s): FREGUESIA DE CIMA E FREGUESIA DE BAIXO					Concelho(s): VILA DE REI
			SUBSTITUI	CÓDIGOS DE OBRA		Nº DESENHO		ÍNDICE
				000888/2020	2800—20C008888	01.0100.20		



					PROJ.	19-10-2019	André Pires	
					LEV. TOP.	10-10-2019	TopoGlobal	
					DES.			
					VERIF.			
ÍNDICE	DESCRIÇÃO	DATA	ALTERADO	APROVADO		DATA	RUBRICA	
DSR-AGI-ARS	FORMATO —	LINHA DE MT A 15(30)KV P/ O PT VLR 0888D PERFIL E PLANTA						
	OUTPUT 1 – 2.5	CASAL VELHO						
PLANTA(S)  301/312	ESCALA(S)  V=1:500 H=1:2500	Freguesia(s): FREGUESIA DE CIMA E FREGUESIA DE BAIXO Cancelho(s): VILA DE REI						
		SUBSTITUI	CÓDIGOS DE OBRA		Nº DESENHO		ÍNDICE	
			000888/2020	2800—20C008888	01.0100.20			



PLANO DE REFERÊNCIA:	520.0 m	X= 3357.43 Y= -1198.24	X= 3356.55 Y= -1408.39	500.0 m	X= 3355.75 Y= -1599.44	X= 3355.75 Y= -1599.44	X= 3355.75 Y= -1599.44	X= 3355.75 Y= -1599.44	X= 3354.37 Y= -1929.31	X= 3354.37 Y= -1929.31	X= 3381.89 Y= -2103.69	X= 3411.47 Y= -2291.09	X= 3440.02 Y= -2471.99
COTA DO TERRENO	559.85	565.81	558.00	531.36	527.97	535.99	537.60	530.54	521.00				
NUMERO DO APOIO	17	18	19	20	21	22	23	24	25				
TIPO DO APOIO	20MP01-800-420	20MP00-600-320	18MP00-600-320	16MP00-600-320	16MG10-7500-3400	16MP04-1600-740	16MP01-800-420	16MP01-800-420	2x18MP00-600-320				
ALTURA UTIL	15.20	15.20	13.20	11.20	13.82	12.00	11.20	11.20	15.75				
ARMAÇÃO	GAL	GAL	GAL	GAL	HRFSC3	GAN 120	GAL	GAL	PAN 120				
FIXAÇÃO DOS CONDUTORES	S	SR	SR	SR	AR	A	SR	SR	AR				
DISTÂNCIA ENTRE APOIOS	209.70	104.70	180.81	115.88	119.98	176.54	189.72	183.14					
DISTÂNCIA À ORIGEM	2710.91	2920.61	3025.31	3206.12	3322.00	3441.98	3618.52	3808.24	3991.38				
CULTURAS	Olival intensivo		Pinhal 8m		Mato rasteiro		Pinhal 12m		Pinhal 16m		Autoestrada		Pinhal 8m

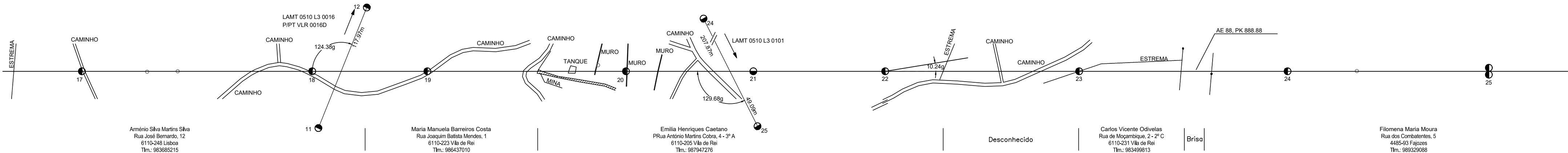
CONDUTOR: LXHIOZ1(cbe) 240  
CONDUTOR: AL-AÇO 160mm2  
T.max: 9daN/mm2

N.º DA LINHA  
0510 L3 0888

Dispositivos dissuasores de nidificação:

- ↑ - Seta simétrica
- ↑ - Seta assimétrica
- ☼ - Guarda chuva
- |— - Amortecedor

FOLHA N°. 03/06  
COMP. 1280.47 m  
—



Arménio Silva Martins Silva  
Rua José Bernardo, 12  
6110-248 Lisboa  
Tlm.: 983685215

Maria Manuela Barreiros Costa  
Rua Joaquim Batista Mendes, 1  
6110-223 Vila de Rei  
Tlm.: 986437010

Emília Henriques Caetano  
PRua António Martins Cobra, 4 - 3º A  
6110-205 Vila de Rei  
Tlm.: 987947276

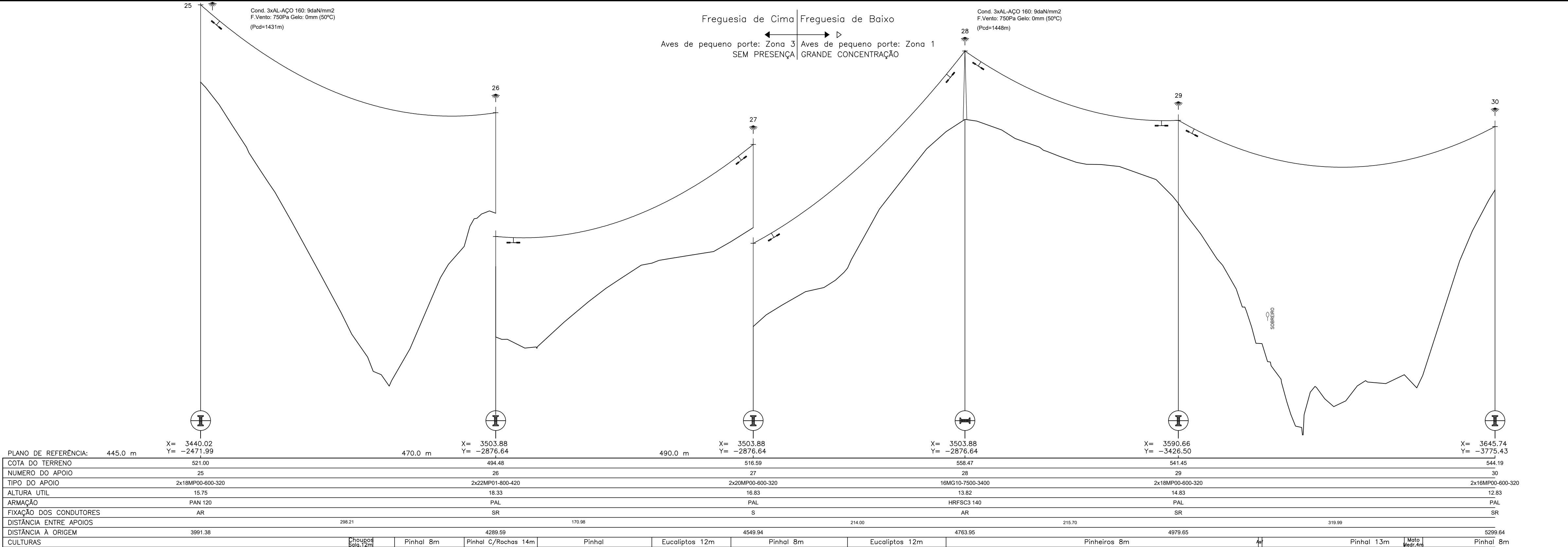
Desconhecido

Carlos Vicente Odivelas  
Rua dos Moçambique, 2 - 2º C  
6110-231 Vila de Rei  
Tlm.: 983499813

Briso

Filomena Maria Moura  
Rua dos Combatentes, 5  
4485-93 Fajozos  
Tlm.: 989329088

				PROJ.	19-10-2019	André Pires	
				LEV. TOP.	10-10-2019	TopoGlobal	
				DES.			
				VERIF.			
ÍNDICE	DESCRIÇÃO	DATA	ALTERADO	APROVADO	DATA	RUBRICA	
DSR-AGI-ARS	FORMATO	LINHA DE MT A 15(30)KV P/ O PT VLR 0888D					
	OUTPUT	CASAL VELHO					
301/312	ESCALA(S)	Freguesia(s): FREGUESIA DE CIMA E FREGUESIA DE BAIXO					
	V=1:500 H=1:2500	SUBSTITUI	CÓDIGOS DE OBRA		Nº DESENHO		ÍNDICE
			000888/2020	2800-20C008888		01.0100.20	



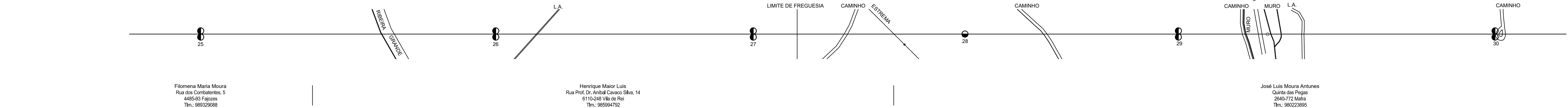
CONDUTOR: LXHIOZ1(cbe) 240  
CONDUTOR: AL-AÇO 160mm2  
T.max: 9daN/mm2


N.º DA LINHA  
0510 L3 0888

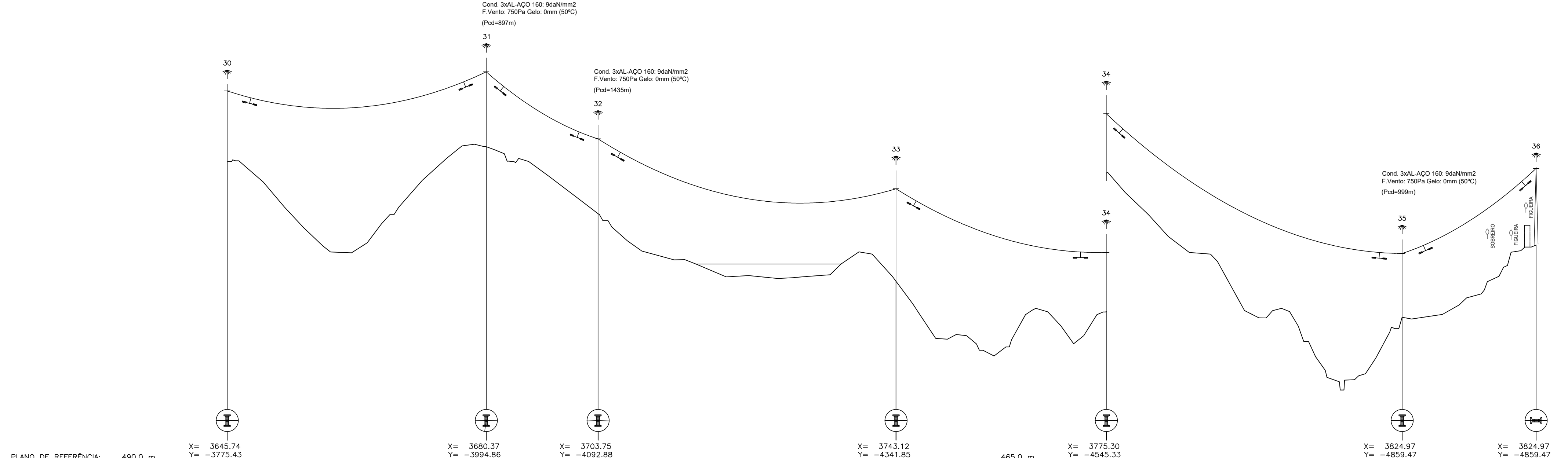
Dispositivos dissuasores de nidificação:

- ↑ - Seta simétrica
- ↑ - Seta assimétrica
- ☂ - Guarda chuva
- |— - Amortecedor

FOLHA N.º. 04/06  
COMP. 1308.26 m  
—



					PROJ.	19-10-2019	André Pires		
					LEV. TOP.	10-10-2019	TopoGlobal		
					DES.				
					VERIF.				
ÍNDICE	DESCRIÇÃO	DATA	ALTERADO	APROVADO		DATA	RUBRICA		
DSR-AGI-ARS	FORMATO —	LINHA DE MT A 15(30)KV P/ O PT VLR 0888D PERFIL E PLANTA							
	OUTPUT 1 – 2.5	CASAL VELHO							
PLANTA(S)  301/312	ESCALA(S)  V=1:500 H=1:2500	Freguesia(s): FREGUESIA DE CIMA E FREGUESIA DE BAIXO      Concelho(s): VILA DE REI							
		SUBSTITUI	CÓDIGOS DE OBRA				Nº DESENHO		ÍNDICE
			000888/2020	2800—20C008888		01.0100.20			



CONDUTOR: LXHIOZ1(cbe) 240  
CONDUTOR: AL-AÇO 160mm2  
T.max: 9daN/mm2

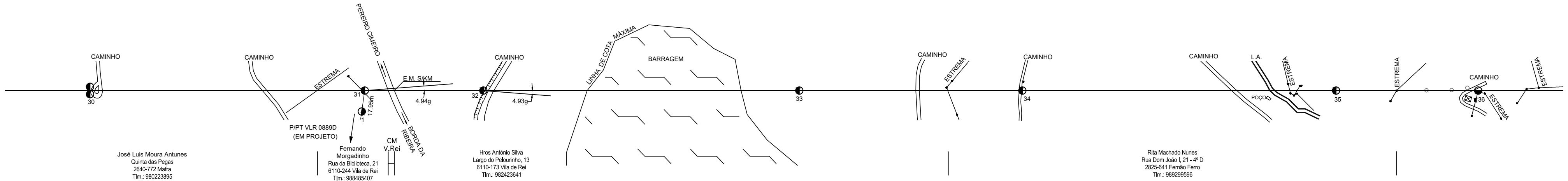
N.º DA LINHA  
0510 L3 0888


Dispositivos dissuasores de nidificação:

- ↑ - Seta simétrica
- ↑ - Seta assimétrica
- ☼ - Guarda chuva
- |— - Amortecedor

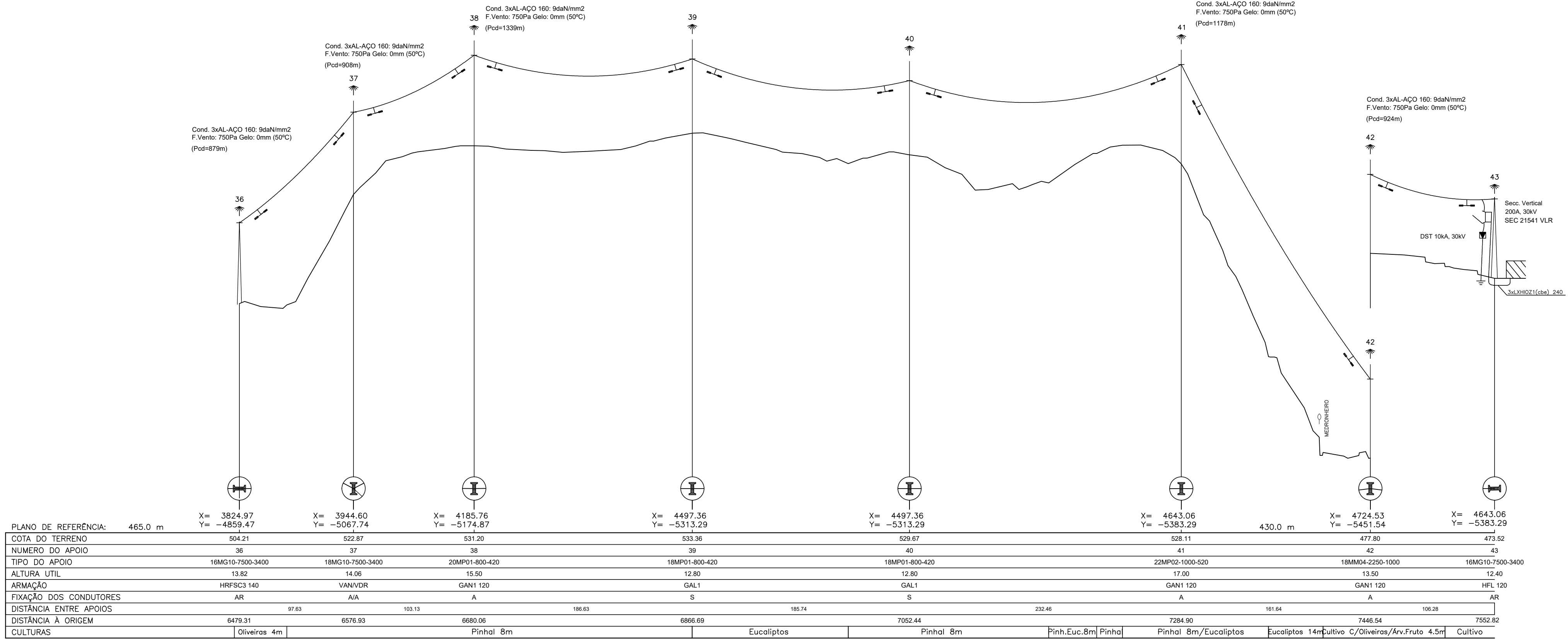
PLANO DE REFERÊNCIA:	490.0 m	Y= -3775.43	Y= -3994.86	Y= -4092.88	Y= -4341.85	465.0 m	Y= -4545.33	Y= -4859.47	Y= -4859.47
COTA DO TERRENO	544.19	546.95	534.87	522.67	517.20	491.19	504.21		
NUMERO DO APOIO	30	31	32	33	34	35	36		
TIPO DO APOIO	2x16MP00-600-320	18MP02-1200-560	18MP02-1200-560	22MP01-800-420	16MP01-800-420	16MP01-800-420	16MG10-7500-3400		
ALTURA UTIL	12.83	13.50	13.50	12.80	10.80	11.50	13.82		
ARMAÇÃO	PAL	GAN1 120/HDR 80	GAN1 120	GAL1	GAL1	GAN1 120	HRFSC3 140		
FIXAÇÃO DOS CONDUTORES	SR	AR/A	AR+HA1	SR	S	A	AR		
DISTÂNCIA ENTRE APOIOS	233.46	100.77	268.56	189.51	266.65	120.71			
DISTÂNCIA À ORIGEM	5299.64	5533.10	5633.87	5885.93	6091.94	6358.59	6479.31		
CULTURAS	Pinhal 8m	Mato	Pinhal 8m	Pinhal 8m	Eucaliptos 8m	Pinhal 8m	Sobreiros 6m	Mato	Sobreiros 6m/Medronheiros 4m

FOLHA N.º. 05/06  
COMP. 1179.67 m  
-



					PROJ.	19-10-2019	André Pires	
					LEV. TOP.	10-10-2019	TopoGlobal	
					DES.			
					VERIF.			
ÍNDICE	DESCRIÇÃO	DATA	ALTERADO	APROVADO		DATA	RUBRICA	
DSR-AGI-ARS	FORMATO —	LINHA DE MT A 15(30)KV P/ O PT VLR 0888D PERFIL E PLANTA						
	OUTPUT 1 – 2.5	CASAL VELHO						
PLANTA(S)	ESCALA(S)	Freguesia(s): FREGUESIA DE CIMA E FREGUESIA DE BAIXO      Concelho(s): VILA DE REI						
301/312	V=1:500 H=1:2500							
		SUBSTITUI	CÓDIGOS DE OBRA			Nº DESENHO		ÍNDICE
			000888/2020	2800—20C008888		01.0100.20		

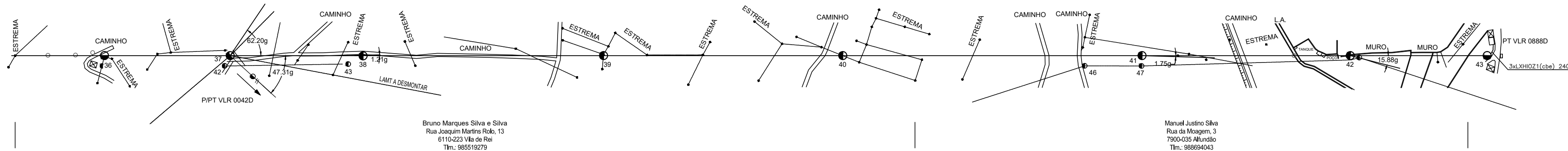




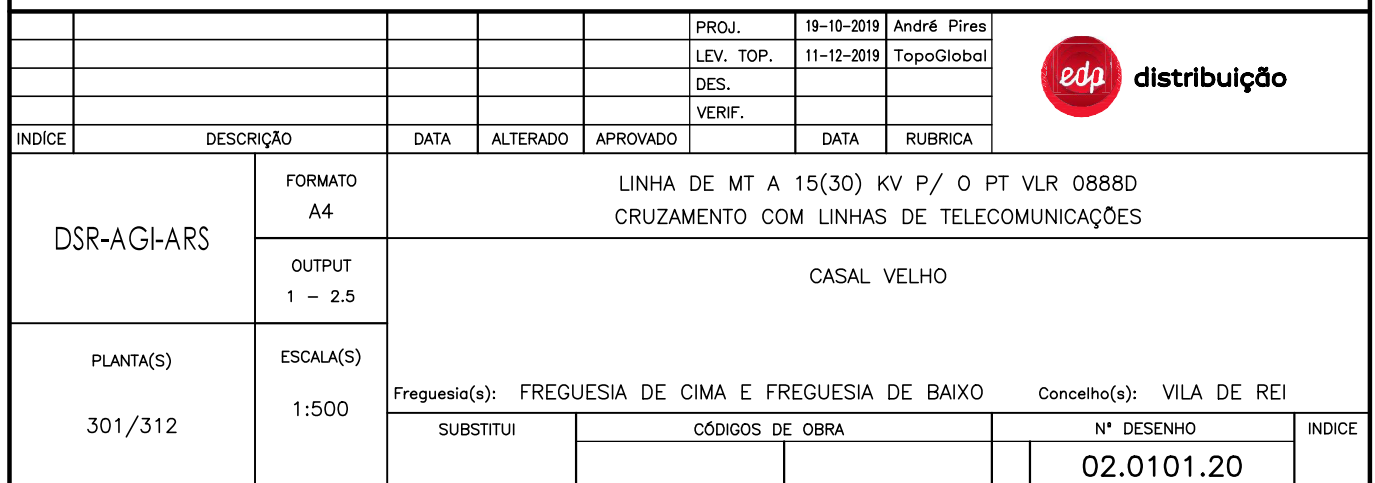
CONDUTOR: LXHIOZ1(cbe) 240  
CONDUTOR: AL-AÇO 160mm2  
T.max: 9daN/mm2

N.º DA LINHA  
0510 L3 0888

FOLHA N.º. 06/06  
COMP. 1073.51 m  
-



					PROJ.	19-10-2019	André Pires	
					LEV. TOP.	10-10-2019	TopoGlobal	
					DES.			
					VERIF.			
ÍNDICE	DESCRIÇÃO	DATA	ALTERADO	APROVADO		DATA	RUBRICA	
DSR-AGI-ARS	FORMATO — OUTPUT 1 - 2.5	LINHA DE MT A 15(30)KV P/ O PT VLR 0888D PERFIL E PLANTA						
PLANTA(S) 301/312	ESCALA(S) V=1:500 H=1:2500	Freguesia(s): FREGUESIA DE CIMA E FREGUESIA DE BAIXO Concelho(s): VILA DE REI						
		SUBSTITUI	CÓDIGOS DE OBRA		N.º DESENHO		ÍNDICE	
			000888/2020	2800-20C008888	01.0100.20			



## Anexo K - Distribuição dos apoios no projeto segundo a EN50341

N. Apoio	Cota [m]	Função	Ângulo [gr.]	Altura [m]	Armação	Vão a Jusante [m]	Vão a Montante [m]	Movimento dos isoladores [°]
17	546,14	FL	0	18	HRFSC3 140	129,12	0	0,00
1	554,15	AN	0	20	HRFSC3 140	122,71	129,12	0,00
2	556,48	AL	0	22	GAL	248,09	122,71	33,47
3	580,45	AN	0	22	GAN 120	98,03	248,09	0,00
4	604,19	RF	0	22	HRFSC3 140	80,08	98,03	33,45
5	609,11	AN	0	22	TAN 120	104,63	80,08	33,46
6	627,89	AL	0	22	HAL-A2S	152,64	104,63	33,48
7	655,29	AL	0	20	PAL	229,14	152,64	0,00
8	703,29	AN	42,05	22	PAN	175,77	229,14	33,46
9	686,72	AN	0	20	PAN	147,08	175,77	33,45
10	653,33	AL	0	22	HAL-A2S	130,38	147,08	33,44
11	624,30	AL	0	22	HAL-A2S	122,86	130,38	33,42
12	599,85	AL	0	22	HAL-A2S	97,45	122,86	0,00
13	579,77	RF	0	20	HRFSC3 140	134,54	97,45	0,00
14	578,76	AN	5,04	22	GAN 120	184,01	134,54	0,00
15	571,16	AN	15,5	22	GAN 120	88,96	184,01	0,00
16	568,94	AN	10,46	22	GAN 120	257,00	88,96	33,49
17	556,92	AL	0	22	GAL	208,42	257,00	33,48
18	560,38	AL	0	22	GAL	161,64	208,42	33,46
19	563,15	AL	0	24	GAL	152,76	161,64	33,45
20	558,00	AL	0	24	GAL	180,81	152,76	33,46
21	531,36	AL	0	20	GAL	115,88	180,81	0,00
22	527,97	RF	0	18	HRFSC3 140	119,98	115,88	0,00
23	535,99	AN	10,24	20	GAN 120	176,54	119,98	33,47
24	537,60	AL	0	20	GAL	189,72	176,54	33,47
25	530,60	AL	0	20	GAL	183,14	189,72	0,00
26	521,00	AL	0	20	GAL	283,81	183,14	33,49
27	494,33	AN	0	20	GAN 120	208,47	283,81	33,48
28	514,08	AL	0	20	GAL	208,48	208,47	0,00
29	558,74	AL	0	20	GAL1	92,78	208,48	33,50
30	571,82	RF	0	22	HRFSC3 140	116,57	92,78	33,50
31	558,38	AL	0	22	GAL1	142,05	116,57	0,00

N. Apoio	Cota [m]	Função	Ângulo [gr.]	Altura [m]	Armação	Vão a Jusante [m]	Vão a Montante [m]	Movimento dos isoladores [°]
32	520,95	AN	0	22	GAN1 120	256,10	142,05	0,00
33	544,19	AL	0	20	GAL1	233,46	256,10	33,49
34	546,95	AN	4,94	20	GAN1 120	100,77	233,46	33,49
35	534,87	AN	4,93	20	GAN1 120	252,06	100,77	0,00
36	526,48	AN	0	20	GAN1 120	114,83	252,06	0,00
37	510,73	RF	0	22	HRFSC3 140	91,18	114,83	0,00
38	517,20	AN	0	20	GAL1	177,18	91,18	0,00
39	487,23	AN	0	20	GAN1 120	140,86	177,18	33,47
40	493,40	AN	0	20	GAN1 120	166,95	140,86	33,48
41	522,87	AN	62,2	22	VAN	103,13	166,95	0,00
42	531,20	AN	1,21	20	GAN1 120	186,63	103,13	0,00
43	533,36	AL	0	20	GAL1	185,75	186,63	0,00
44	529,67	AL	0	20	GAL1	232,46	185,75	0,00
45	528,11	AN	1,75	24	GAN1 12	161,64	232,46	0,00
46	477,80	AN	15,88	22	GAN1 120	106,05	161,64	33,47
47	473,52	FL	0	16	HRFSC3 140	0,00	106,05	0,00



## Anexo L - Cálculo mecânico dos apoios no projeto segundo a EN50341

N. Apoio	Hipótese 1 [daN]		Hipótese 2 [daN]		Torção [daN·m]	Apoio sem Coeficiente de Segurança	Apoio com Coeficiente de Segurança
	$\Sigma F_y$	$\Sigma F_x$	$\Sigma F_y$	$\Sigma F_x$			
17	177,5	4263,8	0,0	0,0	1961,4	18-MG10-7500-3400	18-MG10-7500-3400
1	389,4	0,0	0,0	99,0	0,0	16-MP00-400-220	16-MP02-1000-520
2	217,8	0,0	0,0	59,4	0,0	2x16-MP00-400-220	2x16-MP00-400-220
3	400,5	0,0	0,0	3837,5	1961,4	18-MM10-5000-2350	18-MG10-7500-3400
4	365,0	0,0	0,0	97,6	0,0	18-MP00-400-220	18-MP00-600-320
5	413,8	0,0	0,0	112,3	0,0	20-MP00-600-320	20-MP01-800-420
6	239,5	0,0	0,0	65,9	0,0	2x18-MP00-400-220	2x18-MP00-400-220
7	1611,2	0,0	0,0	59,7	0,0	2x20-MM04-2250-1000	2x20-MM06-2750-1300
8	205,6	0,0	0,0	55,7	0,0	2x18-MP00-400-220	2x18-MP00-400-220
9	358,9	0,0	0,0	95,8	0,0	22-MP01-800-320	22-MP01-800-320
10	331,0	0,0	0,0	87,4	0,0	22-MP01-800-320	22-MP01-800-320
11	274,9	0,0	0,0	70,6	0,0	16-MP00-400-220	16-MP00-400-220
12	307,0	0,0	0,0	3837,5	1961,4	20-MM10-5000-2350	20-MG10-7500-3400
13	736,4	0,0	0,0	101,9	0,0	22-MP01-800-420	22-MP02-1200-560
14	1382,0	0,0	0,0	86,2	0,0	22-MP03-1400-650	22-MM04-2250-1000
15	1126,0	0,0	0,0	110,1	0,0	22-MP02-1200-560	22-MP04-1600-740
16	536,6	0,0	0,0	149,1	0,0	18-MP00-600-320	18-MP01-800-420
17	486,1	0,0	0,0	133,9	0,0	20-MP00-600-320	20-MP01-800-420
18	375,4	0,0	0,0	100,7	0,0	20-MP00-600-320	20-MP00-600-320
19	344,5	0,0	0,0	91,5	0,0	18-MP00-400-220	18-MP00-600-320
20	356,4	0,0	0,0	95,0	0,0	16-MP00-400-220	16-MP00-600-320
21	311,1	0,0	0,0	3837,5	1961,4	16-MM10-5000-2350	16-MG10-7500-3400
22	1058,9	0,0	0,0	94,4	0,0	16-MP02-1200-560	16-MP04-1600-740
23	430,7	0,0	0,0	117,3	0,0	16-MP00-600-320	16-MP01-800-420
24	437,8	0,0	0,0	119,4	0,0	16-MP00-600-320	16-MP01-800-420
25	286,6	0,0	0,0	77,1	0,0	2x18-MP00-400-220	2x18-MP00-600-320
26	270,3	0,0	0,0	75,2	0,0	2x22-MP01-800-320	2x22-MP01-800-320
27	225,4	0,0	0,0	61,7	0,0	2x20-MP00-600-320	2x20-MP00-600-320
28	518,1	0,0	0,0	3837,5	1961,4	16-MM10-5000-2350	16-MG10-7500-3400
29	305,8	0,0	0,0	85,8	0,0	2x18-MP00-400-220	2x18-MP00-600-320
30	315,3	0,0	0,0	88,6	0,0	2x16-MP00-400-220	2x16-MP00-600-320
31	746,4	0,0	0,0	106,9	0,0	18-MP01-800-420	18-MP02-1200-560
32	765,6	0,0	0,0	112,9	0,0	18-MP01-800-420	18-MP02-1200-560

N. Apoio	Hipótese 1 [daN]		Hipótese 2 [daN]		Torção [daN·m]	Apoio sem Coeficiente de Segurança	Apoio com Coeficiente de Segurança
	$\Sigma F_y$	$\Sigma F_x$	$\Sigma F_y$	$\Sigma F_x$			
33	528,8	0,0	0,0	146,7	0,0	18-MP00-600-320	18-MP01-800-420
34	526,7	0,0	0,0	146,1	0,0	16-MP00-600-320	16-MP01-800-420
35	472,9	0,0	0,0	124,1	0,0	16-MP00-600-320	16-MP01-800-420
36	292,4	0,0	0,0	3837,5	1961,4	16-MM10-5000-2350	16-MG10-7500-3400
37	4228,6	0,0	0,0	50,1	0,0	18-MM10-5000-2350	18-MG10-7500-3400
38	449,7	0,0	0,0	92,8	0,0	20-MP00-600-320	20-MP01-800-420
39	437,3	0,0	0,0	119,3	0,0	18-MP00-600-320	18-MP01-800-420
40	486,2	0,0	0,0	134,0	0,0	18-MP00-600-320	18-MP01-800-420
41	597,2	0,0	0,0	126,2	0,0	22-MP01-800-320	22-MP02-1000-520
42	1401,7	0,0	0,0	84,5	0,0	18-MP04-1600-740	18-MM04-2250-1000
43	153,1	4263,8	0,0	0,0	1961,4	16-MG10-7500-3400	16-MG10-7500-3400

## Anexo M - Orçamento do projeto segundo a EN50341

Nº	Descrição dos trabalhos	Quant.	Unid.	MO [€]	Mat. [€]	Valor Parcial [€]
1.1	Piquetagem da linha	7,553	km	223,45	0,00	1 687,72
2.1	Execução de abertura de acessos para implementação de apoio	7,553	km	204,25	0,00	1 542,70
3.1	Abertura de covas em terreno C7	250,08	m³	67,19	0,00	16 802,88
3.2	Fornecimento e execução do maciço ciclópico	243,64	m³	33,10	0,00	8 064,48
3.3	Fornecimento e montagem de poste de betão 16M400	3	un	302,65	464,25	2 300,70
3.4	Fornecimento e montagem de poste de betão 16M600	3	un	302,65	526,05	2 486,10
3.5	Fornecimento e montagem de poste de betão 16M800	4	un	302,65	606,36	3 636,04
3.6	Fornecimento e montagem de poste de betão 16M1200	1	un	302,65	719,39	1 022,04
3.7	Fornecimento e montagem de poste de betão 16M1600	1	un	440,97	2 084,55	2 525,52
3.8	Fornecimento e montagem de poste de betão 16M7500	4	un	440,97	2 084,55	10 102,08
3.9	Fornecimento e montagem de poste de betão 18M400	4	un	302,65	550,65	3 413,20
3.10	Fornecimento e montagem de poste de betão 18M600	6	un	302,65	629,81	5 594,76
3.11	Fornecimento e montagem de poste de betão 18M800	4	un	440,97	745,16	4 744,52
3.12	Fornecimento e montagem de poste de betão 18M1200	2	un	440,97	884,57	2 651,08
3.13	Fornecimento e montagem de poste de betão 18M2250	1	un	440,97	1 204,27	1 645,24
3.14	Fornecimento e montagem de poste de betão 18M7500	1	un	857,01	2 293,03	3 150,04
3.15	Fornecimento e montagem de poste de betão 20M600	5	un	440,97	783,57	6 122,70
3.16	Fornecimento e montagem de poste de betão 20M800	3	un	440,97	885,67	3 979,92
3.17	Fornecimento e montagem de poste de betão 20M2750	1	un	440,97	1 647,85	2 088,82
3.18	Fornecimento e montagem de poste de betão 20M7500	1	un	857,01	2 904,80	3 761,81
3.19	Fornecimento e montagem de poste de betão 22M800	4	un	440,97	1 070,04	6 044,04
3.20	Fornecimento e montagem de poste de betão 22M1200	2	un	440,97	1 268,08	3 418,10

Nº	Descrição dos trabalhos	Quant.	Unid.	MO [€]	Mat. [€]	Valor Parcial [€]
3.21	Fornecimento e montagem de poste de betão 22M1400	1	un	440,97	1 448,63	1 889,60
3.22	Fornecimento e montagem de poste de betão 22M2250	1	un	440,97	1 642,00	2 082,97
3.20	Fornecimento e montagem de terra de proteção	104	un	6,35	0,00	660,40
4.1	Fornecimento e montagem de dispositivo dissuasor de nidificação, tipo guarda-chuva	52	un	17,29	74,97	4 797,26
5.1	Fornecimento e montagem de armação GAL	7	un	18,70	61,74	563,05
5.2	Fornecimento e montagem de armação GAN	4	un	99,00	239,29	1 353,14
5.3	Fornecimento e montagem de armação GAL1	4	un	21,78	73,92	382,78
5.4	Fornecimento e montagem de armação GAN1	6	un	108,57	271,20	2 278,59
5.5	Fornecimento e montagem de armação HAL-A2S	5	un	39,44	117,75	785,93
5.6	Fornecimento e montagem de armação HRFSC3	8	un	101,37	310,31	3 293,40
5.7	Fornecimento e montagem de armação PAL	7	un	35,20	98,00	932,40
5.8	Fornecimento e montagem de armação PAN	2	un	91,30	232,83	648,26
5.9	Fornecimento e montagem de armação VAN	1	un	20,02	98,09	118,11
6.1	Fornecimento e montagem de cadeia de suspensão (U70BS)	33	un	19,81	53,84	2 430,56
6.2	Fornecimento e montagem de cadeia de amarração (U70BS)	42	un	19,81	49,87	2 926,69
6.3	Fornecimento e montagem de cadeia de suspensão reforçada (U100BLP)	45	un	19,81	70,55	4 066,34
6.4	Fornecimento e montagem de cadeia de amarração reforçada (U100BLP)	88	un	19,81	66,58	7 602,60
7.1	Fornecimento, montagem e regulação de AL/ACO 160 26x2.58/72	22,659	km	1 042,32	1 575,00	59 305,85
<b>Total (custos puros sem IVA):</b>						<b>192 902,41 €</b>